This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Digitized by Google

Eng 1070.54

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

TRAITÉ

DE LA CONDUITE ET DE LA DISTRIBUTION

DES EAUX

Digitized by Google

TYPOGRAPHIE DE HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7. BATIGNOLLES.
Boulevard extérieur de Paris.

Digitized by Google

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE LA CONDUITE

ET

DE LA DISTRIBUTION DES EAUX

PAR J. DUPUIT

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES, DIRECTEUR DU SERVICE MUNICIPAL
DE LA VILLE DE PARIS,

SUIVI

D'UN EXTRAIT DE L'ESSAI

SUR LES MOYENS DE CONDUIRE, D'ÉLEVER ET DE DISTRIBUER LES EAUX

PAR GENIEYS
Ancien ingénieur en chef du service municipal de Paris;

ET DE LA DESCRIPTION DES FILTRES NATURELS DE TOULOUSE

PAR D'AUBUISSON
Ancien ingénieur en chef des Mines.

—

AVEC UN ATLAS DE 48 PLANCHES.

PARIS

CARILIAN-GOEURY ET V^OR DALMONT

LIBRAIRES DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

QUAI DES AUGUSTINS, N° 49.

1854

Digitized by Google

Eng 1078.54

JUN 20 1917
TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY

Digitized by Google

AVANT-PROPOS.

Le but de cet ouvrage est de réunir et d'exposer les connaissances théoriques et pratiques nécessaires pour amener et distribuer les eaux dans tous les endroits où le besoin peut s'en faire sentir. Car, bien que nous nous y occupions plus spécialement des distributions d'eau à faire dans les villes, on conçoit que les mêmes principes et les mêmes procédés sont applicables aux irrigations de l'agriculture.

Il serait superflu d'énumérer les nombreux usages auxquels l'eau peut servir; indispensable à la vie des hommes et des animaux, à la végétation des plantes, elle se trouve nécessairement partout où ils existent. Néanmoins, malgré l'abondance avec laquelle elle est répandue à la surface du sol, elle manque souvent sur certains points où elle serait le plus utile; il n'y a guère de champ qu'elle ne puisse rendre plus fertile, de ville qu'elle ne puisse rendre plus salubre, d'endroit, ville ou campagne, qu'elle ne puisse embellir. Aussi, de tout temps, l'homme a-t-il fait de grands travaux et de grands sacrifices pour tirer le meilleur parti possible des eaux qui sont à sa disposition. Les anciens, qui ne connaissaient pas les variétés et les raffinements du luxe amenés par les progrès de la civilisation, consacraient des sommes considérables à la conduite des eaux, à l'établissement des fontaines et des bains publics. Toutes les villes dont l'origine remonte à l'époque de la domination romaine conservent des traces des magnifiques aqueducs que ce peuple conquérant ne manquait pas de construire partout où il s'établissait d'une manière permanente. Dans les temps plus rapprochés de nous, quoique les progrès successifs de l'industrie, de la physique et de la mécanique, eussent fait découvrir de nouveaux usages de l'eau et rendu les travaux hydrauliques beaucoup plus faciles et moins dispen-

Digitized by Google

dieux qu'ils n'étaient autrefois, on en a beaucoup moins exécuté, et on a même laissé dépérir ceux que les anciens avaient établis. Ce n'est guère que sous Louis XIV qu'on a fait, en France, de nouvelles tentatives pour se procurer artificiellement de l'eau jaillissante sur des points naturellement arides. Encore ces tentatives étaient-elles restreintes à une seule ville, ou plutôt à l'embellissement d'un parc. Paris manquait d'eau, ou n'avait, sous ce rapport, que des ressources tout à fait incomplètes et insignifiantes. La plus considérable était, sans contredit, l'aqueduc d'Arcueil dont l'origine remonte à l'empereur Julien, et qui fournit à peine 100 pouces d'eau. Ce n'est réellement qu'en 1802 que commencèrent, pour Paris, les travaux d'une distribution en rapport avec l'importance de cette ville, et ces travaux, lentement conduits, souvent interrompus, ne sont pas encore aujourd'hui terminés. D'après ce qui s'est passé à Paris, on peut juger de ce qui s'est passé dans le reste de la France.

Cependant, depuis quelques années, on commence à mieux apprécier les services que peut rendre un intelligent emploi des eaux; des travaux importants sont entrepris pour les élever, les conduire et les distribuer; et nous ne doutons pas qu'ils ne soient appelés à prendre une grande extension.

Un des motifs les plus puissants qui doivent déterminer les administrations municipales à établir des distributions d'eau, c'est que ces entreprises se prêtent plus que toutes les autres à un morcellement qui permet de répartir les allocations sur un grand nombre d'années, sans que les sacrifices antérieurs restent stériles. Il n'en est pas ainsi de la plupart des travaux publics, qui en général ne deviennent utiles que quand ils sont achevés. On ne peut se servir d'un marché, d'un théâtre, que lorsqu'ils sont couverts; on ne peut passer sur un pont que lorsque la dernière arche est fermée, et si des circonstances obligent à interrompre les travaux, ce qu'on a fait jusqu'alors est à peu près perdu. Au contraire, dès que les premières dépenses sont faites, une distribution d'eau donne immédiatement des résultats utiles, et chaque nouvelle dépense vient successivement les accroître. Nul doute

Digitized by Google

que si tout ce qui se rattache à cette question était plus connu soit des administrateurs, soit des ingénieurs, les travaux de distribution d'eau prendraient un développement bien plus grand qu'ils ne l'ont fait jusqu'à ce jour. Mais les ouvrages qui s'occupent de ces matières sont rares. Un de nos prédécesseurs, M. Emmery, disait (*Statistique des eaux de la ville « de Paris,* 1839) : « L'expérience apprend encore que le nombre des « hommes généreux qui consentent à mettre en commun et avec abandon « tout ce qu'ils savent, que ce nombre, disons-nous, est fort restreint; « presque toujours, l'homme spécial a un grand intérêt à se rendre néces- « saire : par calcul, il a l'égoïsme raisonné de ne communiquer aux autres « que le moins possible, de faire de tout un service public, une sorte d'ar- « canum ; et de là le tort, pour ainsi dire volontaire, de laisser périr, « presque avec chaque génération, les plus précieux documents.

« Toujours est-il que nous pourrions citer des distributions d'eaux pu- « bliques qui sont devenues, dans certaines villes, le monopole d'une fa- « mille, et nous affirmerons au moins que lorsque nous sommes arrivé à la « direction des eaux de Paris, c'est avec toutes les peines imaginables que « nous avons pu ressaisir les fils de cet immense service. »

Ce qu'un de nos prédécesseurs disait de la partie matérielle des distributions d'eau, on peut le dire aussi de la partie intellectuelle. Et si, il y a quatre ans, en prenant la direction des eaux de Paris, nous n'avons pas éprouvé les mêmes difficultés que M. Emmery pour saisir le fil qui devait nous conduire dans ce labyrinthe, nous en avons trouvé de bien grandes encore pour compléter les notions théoriques et pratiques qui nous étaient nécessaires.

Quelques ouvrages d'hydraulique ont, il est vrai, traité certaines questions qui se rattachent aux distributions d'eau; mais leurs auteurs, n'ayant pas eu l'occasion de mettre leurs théories en pratique, ont presque toujours donné des développements exagérés à celles qui avaient peu d'importance au point de vue de l'exécution, et passé sous silence ou à peine effleuré beaucoup d'autres qui, à ce même point de vue, en avaient bien

Digitized by Google

davantage. D'ailleurs, les notions théoriques ne suffisent pas pour exécuter une distribution d'eau ; il ne s'agit pas seulement de déterminer la section d'un aqueduc ou le diamètre d'un tuyau, il faut encore savoir quels matériaux doivent être employés, les précautions à prendre dans leur emploi, etc. Or, ces notions pratiques se trouvent éparses dans des notices, dans des mémoires écrits par des ingénieurs, qui, après avoir établi des distributions d'eau, ont fait connaître les procédés dont ils s'étaient servis. M. d'Aubuisson, entre autres, a publié sur la distribution de Toulouse un très-utile et très-remarquable travail. Mais personne, avant M. Genieys, ne s'était occupé d'une manière exclusive et spéciale de la question de la distribution des eaux, considérée à un point de vue général.

Aussi l'ouvrage de cet habile et laborieux ingénieur, épuisé depuis longtemps, eût-il été réimprimé si, depuis vingt-cinq ans, la fabrication des tuyaux et tout ce qui concerne la partie technique de la question n'avaient été profondément modifiés. Enfin, la partie théorique laisse, selon nous, beaucoup à désirer ; du moins, nous n'y avons pas trouvé la solution des nombreuses questions que nous présentait journellement la distribution des eaux de Paris et qui nous ont demandé de longues et pénibles recherches. C'est pour les épargner à tous ceux qui auraient des travaux de distribution d'eau à projeter ou à exécuter que nous publions cet ouvrage. Nous le faisons suivre d'un extrait de celui de Genieys, contenant la partie à laquelle le temps a conservé toute sa valeur. Voici, du reste, le plan que nous avons suivi.

Nous nous occupons d'abord de la quantité et de la qualité des eaux à distribuer. La première question ne peut guère être résolue que par l'observation de la consommation de l'eau dans les villes où existent des distributions ; nous avons recueilli sur ce sujet le plus de faits qu'il nous a été possible. La seconde, en ce qui concerne l'influence des matières que les eaux naturelles tiennent en dissolution, est plutôt du ressort du médecin et du chimiste que de celui de l'ingénieur ; aussi, avons-nous été obligé de faire de nombreux emprunts aux autorités les plus compétentes,

Digitized by Google

et surtout à l'*Annuaire des eaux*. Malgré les difficultés que nous présentait cette partie du travail, nous croyons cependant être parvenu à réunir toutes les notions nécessaires pour qu'un ingénieur puisse, sinon résoudre omplétement la question d'hygiène, du moins, consulter avec fruit les hommes spéciaux. Quant aux matières insolubles qui se trouvent en suspension dans les eaux, nous exposons les divers procédés de filtrage employés en petit et en grand, tant en France qu'en Angleterre. C'est là, il faut le reconnaître, une question qui est loin d'être résolue d'une manière complète et satisfaisante; le plus beau succès sous ce rapport a été obtenu par M. d'Aubuisson, et nous avons pensé qu'on nous saurait gré d'avoir placé à la fin de notre ouvrage la partie du Mémoire de cet habile ingénieur relative aux filtres naturels de la distribution de Toulouse.

On trouvera, dans le second chapitre, un exposé des divers modes de distribution et d'exploitation des eaux. Nous y signalons les avantages du système continu, les inconvénients du jaugeage; après avoir discuté les divers modes d'abonnement, nous cherchons à faire prévaloir l'abonnement à forfait et à discrétion, basé soit sur une évaluation préalable de la consommation, soit sur l'importance du loyer.

Le chapitre III résume les principes et les théorèmes généraux de l'hydraulique qui servent de point de départ pour l'établissement des formules relatives au mouvement de l'eau dans les conduites forcées. Dans les chapitres IV, V, VI et VII, nous considérons successivement le débit à l'extrémité d'une conduite simple à diamètre constant ou à diamètre variable, et celui d'une conduite complexe, c'est-à-dire d'un réseau de tuyaux débouchant par un ou plusieurs orifices. Des formules simples et d'un calcul facile ramènent les conduites les plus compliquées au cas de la conduite à diamètre constant. Nous passons ensuite au débit uniforme en route, soit unique, soit accompagné d'un débit d'extrémité; c'est le cas qui se présente le plus ordinairement dans la pratique, ou du moins celui qui sert de base à la plupart des calculs. Car, lorsqu'on projette une distribution, il règne toujours une certaine incertitude sur le nombre, l'emplacement et l'im-

Digitized by Google

portance des prises d'eau qui seront faites sur chacune des conduites, et alors l'ingénieur n'a rien de mieux à faire que de supposer leur débit uniforme. Nous déterminons en même temps, pour tous les cas, les lignes de charge, c'est-à-dire celles qui limitent la hauteur où l'eau peut s'élever en chaque point de la conduite. Il ne suffit pas, en effet, qu'un tuyau puisse fournir le débit qu'on lui demande soit en route, soit à l'extrémité, il faut encore que chaque partie du débit puisse s'élever à la hauteur de l'orifice par lequel elle doit s'écouler.

Ces recherches ont pour but de déterminer les diamètres des diverses portions de conduite qui entrent dans une distribution. Comme le prix des tuyaux est à peu près proportionnel à leur diamètre, on comprend toute l'importance de la question au point de vue de l'économie. Cette détermination du diamètre des conduites exige qu'on se rende compte des rôles divers qu'elles peuvent jouer dans une distribution ; car tantôt elles alimentent des réservoirs, lorsque la consommation d'eau est faible, tantôt elles sont alimentées par eux, lorsque la consommation est considérable. On peut, en établissant, sur quelques points de la distribution convenablement choisis, des réservoirs d'une certaine capacité, diminuer sensiblement le diamètre des conduites. Si la consommation était régulière, si, par exemple, une conduite qui doit débiter par jour 86,400 litres pouvait faire son service en débitant 1 litre par seconde, il serait inutile d'avoir recours à des réservoirs qui, ne s'emplissant et ne se vidant jamais, ne sauraient rendre aucun service ; mais la consommation du jour est, en général, différente de celle de la nuit, et la conduite, à qui on ne demande en moyenne qu'un litre par seconde doit souvent pouvoir en débiter 15 ou 20 dans certains moments. On peut résoudre le problème par une augmentation suffisante du diamètre, mais on le peut aussi par l'établissement de réservoirs placés sur le parcours de la conduite. Nous avons cherché à distinguer, dans le chapitre VII, les circonstances dans lesquelles on doit préférer l'une ou l'autre de ces solutions. Dans le chapitre VIII, la théorie des conduites forcées se termine par des considérations sur la résistance

Digitized by Google

qu'elles doivent présenter, par l'exposé et l'examen des formules empiriques dont on s'est servi jusqu'à présent pour déterminer l'épaisseur de leurs parois.

Les chapitres IX et X sont consacrés à l'étude de l'écoulement de l'eau dans les conduites libres, et de la construction des divers ouvrages, rigoles, aqueducs, égouts, pierrées, où cet écoulement peut avoir lieu. La section d'une conduite forcée est presque toujours circulaire, mais celle d'une conduite libre est arbitraire, du moins en grande partie. Il faut donc, pour ces conduites, non-seulement déterminer la surface de la section, mais son profil, de manière à satisfaire le mieux possible à toutes les conditions qui concernent le mouvement de l'eau et la nature de l'ouvrage dans lequel elle doit s'écouler, rigole, aqueduc couvert ou découvert. Enfin, la question la plus importante de la conduite des eaux est de reconnaître les circonstances dans lesquelles il convient d'adopter soit l'écoulement libre, soit l'écoulement forcé, car presque partout le choix entre ces deux moyens est possible, et nous pensons qu'on a trop souvent donné la préférence aux conduites libres, parce que leur construction est plus familière aux ingénieurs, et donne lieu à des travaux plus capables d'attirer l'attention publique. Nous croyons avoir démontré, par des exemples, que les ponts-aqueducs, les ponts à siphons, et tous ces monuments d'une construction gigantesque, doivent être aujourd'hui remplacés par de simples tuyaux enfouis sous le sol.

Des considérations sur la construction des égouts et des galeries terminent le chapitre X. Quoique ces ouvrages ne soient pas indispensables aux travaux d'une distribution d'eau, ils en sont souvent une conséquence immédiate. Si l'eau est presque toujours un bienfait, elle est quelquefois un inconvénient, et on doit la faire disparaître de la surface du sol, dès qu'elle est corrompue par les matières étrangères qu'elle entraîne avec elle. Un des buts principaux des distributions d'eau est l'assainissement des villes : il serait bien incomplétement atteint si, en répandant de l'eau sur les voies publiques, on ne l'en faisait sortir que lorsqu'elle les aurait

Digitized by Google

parcourues dans toute leur étendue. Les égouts étant d'ailleurs des ouvrages qui servent à conduire les eaux, le système de leur construction se rattache naturellement à celui des aqueducs.

L'eau nécessaire pour faire une distribution ne se trouve pas toujours à une hauteur convenable, et il faut l'y élever artificiellement. Le nombre des machines qui servent à cet usage est très-varié : on peut y employer des moteurs animés, des hommes, des chevaux, etc.; des moteurs inanimés, tels que le vent, l'eau, l'air, la vapeur, etc. Chaque système de machine fait l'objet de traités spéciaux, beaucoup plus importants et plus volumineux que le nôtre. Il nous était donc impossible d'entrer dans l'examen détaillé des machines qui servent à élever les eaux. Mais il nous a semblé, cependant, qu'il y a dans la plupart d'entre elles, à cause de leur destination commune, des difficultés, des mouvements, des appareils, qui leur sont aussi communs, et qui se trouvent par conséquent susceptibles de faire l'objet d'une étude spéciale. Tel est le sujet du chapitre XI. Les organes des machines élévatoires ayant ordinairement des mouvements alternatifs, il en résulte dans la masse d'eau élevée un mouvement varié, dont il nous a paru utile d'examiner les diverses circonstances; cette masse d'eau, chassée presque toujours dans une longue conduite, tend à y prendre une vitesse uniforme, qui contrarie les mouvements alternatifs des machines élévatoires. Pour vaincre ces difficultés, on a été obligé d'avoir recours à divers appareils, tels que les châteaux d'eau, les colonnes d'eau, les réservoirs d'air : nous avons donc dû essayer d'en présenter la théorie. Enfin, nous appliquons les principes que nous venons d'exposer au calcul du mouvement des machines à vapeur du système Cornwall, parce que ce sont elles qui, jusqu'à présent, ont donné, dans les travaux d'épuisement, les résultats les plus avantageux, et qu'étant dépourvues de volant, leur mouvement présente des phénomènes particuliers qui n'ont pas encore été étudiés.

Pour faire une distribution d'eau, il suffit d'amener, à chacun des orifices à desservir, une conduite branchée sur un réseau tracé d'une manière quelconque; le calcul donne alors, d'une manière précise,

Digitized by Google

le diamètre de chacune des conduites, et le problème se trouve résolu au point de vue de l'alimentation, c'est-à-dire que chacun des orifices débite la quantité d'eau qui lui est demandée. Mais, parmi tous les réseaux qu'on peut adopter, il y en a toujours un qui donne le minimum de dépense. Indiquer les règles générales qui peuvent servir à le tracer, y déterminer l'emplacement des réservoirs, et des robinets d'arrêt et de décharge, tel est l'objet du chapitre XII, qui termine ce qu'on peut appeler la partie théorique de la question.

Le chapitre XIII traite de la partie pratique, c'est-à-dire de l'exécution et de l'entretien des travaux, de la construction des réservoirs, de la fabrication des tuyaux en fonte, en plomb, en tôle et bitume, des divers modes d'assemblage et de prise d'eau, des divers systèmes de robinets d'arrêt, de décharge, de jauge, de puisage, des bornes-fontaines, et, en général, de tous les travaux de fontainerie que comporte une distribution. Cette partie technique est complétée par les documents rassemblés dans le chapitre XIV. Ils consistent principalement dans les cahiers des charges imposées aux entrepreneurs de la distribution de Paris, où se trouvent les conditions qui peuvent assurer une bonne exécution et un entretien soigné. La forme de ces pièces nous a paru la plus propre à donner les renseignements qu'on peut désirer, tout en facilitant le travail que les ingénieurs auraient à faire. A l'aide de légères modifications, les devis de la distribution de Paris peuvent devenir ceux d'une distribution quelconque; il est évident qu'il y a des soins, des précautions, qui partout sont indispensables pour le succès de ces sortes d'entreprises, et qu'en modifiant certains prix élémentaires, suivant les circonstances locales, on peut rendre applicables à toutes les localités les prix établis primitivement pour l'une d'elles.

Des tables destinées à faciliter les calculs relatifs au mouvement de l'eau dans les conduites terminent l'ouvrage; elles sont précédées d'une notice qui en explique l'usage par de nombreux exemples, où les divers problèmes dont nous avons donné la solution dans les chapitres précédents

Digitized by Google

sont passés en revue. C'est une espèce de résumé pratique qui se trouve à la portée de ceux qui n'auraient ni le temps ni les connaissances mathématiques nécessaires pour aborder la démonstration des formules dont nous nous sommes servi.

La deuxième partie renferme tout ce qui, dans l'ouvrage de Genieys, nous a paru mériter d'être conservé, ou ne pas faire double emploi avec ce que nous avions dû exposer dans la première partie. Cet ingénieur s'était beaucoup occupé de la partie historique de la question; et tout ce qu'il a dit, à cet égard, n'a rien perdu de son intérêt; quant à la partie théorique et pratique, puisée dans les ouvrages des hydrauliciens les plus habiles de son temps, elle appartient elle-même aujourd'hui à l'histoire de la science, et il nous a paru utile d'en reproduire de nombreux fragments. Quand on étudie une question, il est avantageux de connaître les diverses opinions successivement émises sur les sujets principaux qui s'y rattachent, c'est le moyen de mieux apprécier les opinions et les procédés nouveaux.

Comme nous l'avons dit plus haut, on trouvera aussi, dans cette seconde partie, un extrait du Mémoire de d'Aubuisson concernant les filtres naturels; c'est une excellente pièce à consulter pour ceux qui auraient des travaux semblables à exécuter.

Un atlas, composé de planches nombreuses, accompagne l'ouvrage et donne tous les détails nécessaires pour l'exécution des divers travaux que comporte une distribution d'eau.

Ainsi qu'on vient de le voir, l'art de conduire et de distribuer les eaux touche à une foule de questions. Quelques lecteurs trouveront, sans doute, que quelques-unes d'entre elles n'ont pas été assez approfondies : notre excuse sera dans la difficulté et dans la nouveauté du sujet. D'autres penseront, au contraire, que tant de recherches et tant de calculs sont inutiles pour faire des travaux dont on venait parfaitement à bout, à une époque où on ne connaissait ni la chimie, ni la physique, ni la mécanique. Tout en convenant que peut-être nous nous sommes trop étendu sur certains sujets, nous devons mettre le public en garde contre cette opinion,

Digitized by Google

qui, dans les questions industrielles, tend à repousser comme inutiles les secours de la théorie. Sans doute, les Romains ont fait de magnifiques distributions d'eau, sans avoir les notions les plus vulgaires de physique et de mécanique; on en a fait depuis les Romains, sans en savoir davantage, et on pourrait en faire encore. La seule différence, entre ces distributions et celles qui seraient faites d'après une saine théorie et avec les meilleurs procédés pratiques, est tout entière dans la dépense. Notre but a donc moins été de rechercher les moyens de conduire les eaux, ce qui est connu depuis longtemps, que de rechercher les moyens d'y parvenir avec le moins de dépense possible. Or, pour cela, il faut trois choses : la théorie, qui enseigne les principes généraux de certaines sciences; la pratique, qui fait connaître les meilleurs procédés industriels en usage pour diriger les eaux; enfin l'invention, qui fait découvrir les combinaisons les plus avantageuses à appliquer aux diverses localités. En effet, il y a, dans toutes les parties de l'art de l'ingénieur, des choses qui peuvent s'apprendre et d'autres qui se trouvent; c'est précisément pour cela que c'est un art. Par la même raison que deux ingénieurs, possédant au même degré la théorie et la pratique, ne projetteraient ni le même chemin de fer, ni le même canal, ni le même pont, ils ne feraient pas non plus le même projet de distribution d'eau. Mais leurs projets, quoique très-différents par les résultats, auraient cela de commun qu'ils ne contiendraient ni certaines erreurs ni certaines fautes que les connaissances théoriques et pratiques permettent d'éviter. Réunir et exposer ces connaissances, en ce qui concerne les projets de distribution d'eau, tel a été, comme nous l'avons dit en commençant, le seul but de cet ouvrage.

Digitized by Google

ERRATA.

Page 61, ligne 17, *au lieu de* : $d = \frac{1}{}D$, *lisez* : $d = \frac{1}{2}D$.

Page 149, ligne 7, *au lieu de* : n° 154, *lisez* : n° 54.

Page 195, ligne 22, *au lieu de* : fig. 86 *ter*, *lisez* : fig. 87 *ter*.

Page 218, lignes 6 et 13; *au lieu de* : MXDR, *lisez* : MdXDR.

Page 243, ligne 7, *au lieu de* : $0^m,005$, *lisez* : $0^m,003$.

Page 304, dernière ligne, *au lieu de* : fantaisie, *lisez* : fontainerie.

Page 344, supprimez les *m* qui sont en tête des colonnes des coefficients de contraction.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE I.

DE LA QUANTITÉ ET DE LA QUALITÉ DES EAUX A DISTRIBUER. — DIVERS PROCÉDÉS DE FILTRATION EN USAGE.

	Nos des paragraphes.	Pages.
Évaluation de diverses consommations d'eau.	1	1
Évaluation de la consommation d'une ville.	2	4
Irrégularités de la consommation et de l'alimentation.	3	4
Des réservoirs comme moyens de régulariser la consommation et l'alimentation.	4	5
De la qualité des eaux à distribuer.	5	6
Influence des matières en dissolution.	6	7
— de l'air et du gaz acide carbonique	7	10
— des matières organiques.	8	10
— des matières fixes.	9	11
— des sels calcaires.	10	11
— des sels magnésiens.	11	12
— des sulfates.	12	12
— des azotates.	13	13
— des chlorures, bromures, iodures.	14	13
Observation sur la distinction faite par les chimistes entre le bicarbonate de chaux et les autres sels.	15	14
Doses de bicarbonate de chaux qui produisent l'incrustation des conduites.	16	17
Des tubercules ferrugineux.	17	19
De la température de l'eau, eaux de sources, eaux de rivières.	18	20
Analyse des eaux de Paris.	19	21
Des matières en suspension.	20	22
Du filtrage.	21	23
Des filtres naturels	22	24
— artificiels.	23	25
Dépenses du filtrage artificiel à Londres.	24	28
Influence de la charge et de l'épaisseur des couches filtrantes sur le produit des filtres.	25	29
Considérations générales sur le filtrage.	26	30

CHAPITRE II.

DU MODE DE DISTRIBUTION DES EAUX AUX PARTICULIERS. — DU PRIX DE VENTE.

Inconvénients du mode de distribution intermittent	27	32
Du système continu	28	33
L'eau livrée aux particuliers doit-elle être jaugée ? — Divers modes de jaugeage. — Considérations générales sur les tarifs	29	33
Examen du tarif de Toulouse	30	36
Bases rationnelles pour l'établissement d'un tarif.	31	37

Digitized by Google

CHAPITRE III.

RÉSUMÉ DES PRINCIPES ET THÉORÈMES GÉNÉRAUX DE L'HYDRAULIQUE APPLICABLES A L'ÉTUDE DES PROJETS DE DISTRIBUTION D'EAU.

	Nos des paragraphes.	Pages.
Connaissances théoriques indispensables à l'étude des projets de distribution d'eau.	32	41
Propriétés physiques de l'eau	33	41
Principes généraux d'hydrostatique	34	42
Équation générale du mouvement de l'eau dans un vase.	35	43
Formules relatives à la vitesse de sortie.	36	45
Cas exceptionnels, siphons.	37	46
Charge moyenne sur un orifice de hauteur déterminée.	38	48
Contraction de la veine fluide.	39	49

CHAPITRE IV.

CONDUITE SIMPLE A DIAMÈTRE CONSTANT. — DES LIGNES DE PRESSION ET DE CHARGE. — DÉBIT A L'EXTRÉMITÉ.

Détermination de la ligne de pression.	40	53
— de la ligne de charge.	41	53
— de la fonction de la vitesse qui exprime la résistance à la paroi.	42	56
Formule du débit à l'extrémité d'une conduite	43	58
Charge disponible sur l'orifice de sortie. — Jets d'eau.	44	60
Conséquences de la position de la ligne de charge sur le service des orifices situés le long d'une conduite.	45	61
Influence des dimensions de l'orifice d'extrémité sur le débit de la conduite	46	61
— du débit de la conduite sur celui d'un orifice intermédiaire.	47	61
Perturbation dans le débit résultant du nivellement de la conduite	48	62
Influences réciproques du débit, de la charge, de la longueur et du diamètre de la conduite.	49	64

CHAPITRE V.

CONDUITES COMPLEXES A DIAMÈTRE VARIABLE. — DÉBIT A L'EXTRÉMITÉ PAR UN OU PLUSIEURS ORIFICES.

Conduite à diamètre variable. — Diamètre moyen équivalent.	50	66
Longueur de conduite qui donne le même débit, avec un diamètre déterminé.	51	67
Conduite complexe. — Conduite unique équivalente.	52	68
Les formules précédentes existent même pour le cas de la formule binôme de M. de Prony.	53	69
Influence du nombre des conduites sur le prix de leur établissement.	54	71
Cas où une conduite complexe peut être ramenée à une seule conduite.	55	71
Conduites complexes dégorgeant par deux orifices de niveau différent.	56	72
— — branchées sur des réservoirs de niveau différent	57	73

Digitized by Google

	Nos des paragraphes.	Pages.
Des réservoirs comme moyen d'augmenter le débit momentané des conduites.	58	76
Orifice alimenté par deux réservoirs de niveau différent.	59	77
Exemple des fontaines de la place de la Concorde, à Paris.	60	78
Cas général d'une conduite complexe ayant un nombre indéterminé d'orifices d'entrée et de sortie.	61	78
Influence des coudes et des étranglements.	62	79
— du nivellement des conduites.	63	81

CHAPITRE VI.

DU SERVICE EN ROUTE, SIMPLE OU MIXTE (ISOLÉ OU COMBINÉ AVEC UN SERVICE D'EXTRÉMITÉ).

Fonction ordinaire des conduites dans les distributions d'eau.	64	82
Service en route variable.	65	82
Service en route uniforme.	66	84
Service mixte, ou en route et à l'extrémité.	67	85
Formule approximative pour le service mixte.	68	86
Relation entre les lignes de charge et la courbe longitudinale de la paroi de la conduite.	69	88
Courbe suivant laquelle doit varier le diamètre pour que la dépense de la conduite soit un minimum.	70	89
Propriété des autres courbes, tuyau conique.	71	91
Comparaison des différents systèmes de diamètre.	72	92
Du diamètre dans le cas du service mixte, en route et à l'extrémité,	73	93
Du diamètre des branchements.	74	96
Des orifices de sujétion.	75	98

CHAPITRE VII.

DES CONDUITES ALIMENTÉES PAR PLUSIEURS RÉSERVOIRS.

Considérations sur le service des conduites maîtresses.	76	100
Service à deux réservoirs (formules générales).	77	100
Exemples numériques.	78	103
Influence du régime de la distribution sur le diamètre des conduites.	79	105
Service à plusieurs réservoirs.	80	107
Influence de la division de l'eau entre plusieurs conduites sur la dépense de leur établissement.	81	108
Influence de la variation du niveau des réservoirs sur la distribution.	82	110

CHAPITRE VIII.

DE LA RÉSISTANCE QUE DOIVENT PRÉSENTER LES CONDUITES FORCÉES, ET PARTICULIÈREMENT LES TUYAUX.

Formules théoriques de la tension de la paroi en fonction de la pression.	83	112
Des matières les plus propres à former les tuyaux; de l'épaisseur nécessaire pour résister à l'extension.	84	113
Mesure de l'influence des chocs ou coups de bélier.	85	115
Formules pratiques usitées pour déterminer l'épaisseur des tuyaux de fonte.	86	117

Digitized by Google

	Nos des paragraphes.	Pages.
Considérations sur l'exactitude de ces formules.	87	119
Formule pour une charge et un diamètre quelconque.	88	119
Poids et prix des tuyaux, proportionnels au diamètre.	89	120
Tuyaux de plomb.	90	120
— de tôle.	91	122
Efforts longitudinaux qu'ont à supporter les conduites.	92	123

CHAPITRE IX.

DE L'ÉCOULEMENT LIBRE DE L'EAU DANS LES RIGOLES ET AQUEDUCS.

Formule de l'écoulement libre dans les rigoles.	93	125
Relation entre les vitesses, les pentes, les débits, les périmètres de deux rigoles d'une section quelconque.	94	126
Cas des rigoles rectangulaires.	95	128
Comparaison entre les vitesses et les sections de divers systèmes de conduite, susceptibles de donner un débit déterminé.	96	130
Section trapézoïdale.	97	132
Section de maximum de vitesse pour un débit variable.	98	134
Comparaison des vitesses qu'on obtient dans divers systèmes de conduite.	99	134

CHAPITRE X.

DE L'ÉTABLISSEMENT DES RIGOLES, — DES AQUEDUCS, — DES GALERIES. — DES CIRCONSTANCES OU LES AQUEDUCS ET RIGOLES DOIVENT ÊTRE PRÉFÉRÉS AUX CONDUITES FORCÉES. — DES PONTS-AQUEDUCS. — DES PONTS A SIPHON. — DES PIERRÉES, — DES ÉGOUTS.

De la pente et de la section à donner aux rigoles et aqueducs.	100	136
Des rigoles en terre.	101	137
Des aqueducs en maçonnerie ; profil à leur donner ; épaisseur de leurs parois.	102	138
Des diverses espèces d'aqueducs. — Aqueducs simples.	103	143
Aqueducs. — Galeries.	104	145
Examen critique de deux profils de galerie.	105	146
Galeries pour conduites.	106	148
Du choix à faire entre les aqueducs et les conduites.	107	149
Des ponts-aqueducs.	108	153
Des ponts à siphon.	109	157
Principes généraux sur le choix des conduites.	110	160
Des pierrées.	111	160
Des égouts.	112	164

CHAPITRE XI.

DU MOUVEMENT VARIÉ DANS LES CONDUITES. — DES POMPES. — DES CHATEAUX D'EAU. — DES RÉSERVOIRS D'AIR. — DES MACHINES A VAPEUR DU SYSTÈME DE CORNWALL.

Du mouvement varié de l'eau dans les tuyaux.	113	169
Colonnes oscillantes de M. de Caligny.	114	173
Vitesse de l'eau pendant l'aspiration des pompes.	115	173
Vitesse de l'eau pendant le refoulement.	116	176
Des pompes attelées aux machines rotatives.	117	178

Digitized by Google

	Nos des paragraphes.	Pages.
Des châteaux d'eau.	118	180
Des réservoirs d'air.	119	183
Avantages des pistons plongeurs.	120	192
Description des machines de Cornwall.	121	193
Calculs relatifs à l'établissement de ces machines.	122	195
Légende explicative des planches 9 et 10, relatives à la machine à vapeur système Cornwall.		204

CHAPITRE XII.

DU TRACÉ ET DU DIAMÈTRE DES CONDUITES MAÎTRESSES. — DE L'EMPLACEMENT DES RÉSERVOIRS, DES ROBINETS D'ARRÊT ET DE DÉCHARGE.

Importance du tracé des conduites maîtresses.	123	207
Principes généraux de ce tracé.	124	208
Type d'une distribution uniforme sur un terrain indéfini.	125	210
Distribution des eaux de l'Ourcq dans Paris.	126	211
Des divers cas qui peuvent se présenter dans une distribution.	127	213
Détermination du diamètre de la conduite ascensionnelle.	128	213
Limite de l'aqueduc aux abords de la distribution.	129	216
Nécessité et position plus avantageuse du réservoir.	130	217
Du double service.	131	219
De la division de la distribution en plusieurs étages.	132	222
Règles générales pour le tracé des conduites principales.	133	225
De la nécessité de limiter le nombre des diamètres qui doivent être admis dans une distribution.	134	226
Considérations sur le calcul des diamètres des conduites.	135	228
Représentation graphique de la distribution.	136	231
Emplacement des robinets d'arrêt et de décharge.	137	233

CHAPITRE XIII.

EXÉCUTION ET ENTRETIEN DES TRAVAUX D'UNE DISTRIBUTION D'EAU.

Le mode d'exécution des travaux peut varier indéfiniment.	138	235
Des réservoirs en déblais.	139	235
Des réservoirs en remblais.	140	236
Des réservoirs dont le fond est au-dessus du sol.	141	240
De la surface des réservoirs.	142	244
De quelques dispositions communes à tous les réservoirs	143	245
Des diverses espèces de tuyaux en usage.	144	247
Des tuyaux en tôle plombée et bitumée.	145	248
Des tuyaux de fonte.	146	251
Essai des tuyaux.	147	251
Pose des tuyaux de fonte.	148	253
Dépose des tuyaux.	149	255
Plaques pleines à l'extrémité des conduites.	150	255
Manchons.	151	255
Tuyaux courbes.	152	256

Digitized by Google

	Nos des paragraphes.	Pages.
Des embranchements.	153	256
Des tuyaux de plomb.	154	258
Des assemblages des tuyaux de plomb	155	259
Des robinets d'arrêt, de puisage, de décharge, bouches à clef.	156	259
Prise d'eau pour orifice public ou particulier.	157	260
Robinets de jauge.	158	261
Robinet-vanne, clapet d'arrêt.	159	261
Bandes de fond pour réservoir.	160	266
Des regards.	161	266
Bornes-fontaines.	162	268
Bouches sous trottoirs, poteaux d'arrosement, boîtes d'incendie.	163	271
Dépenses d'entretien d'une distribution.	164	273

CHAPITRE XIV.

DOCUMENTS RELATIFS A L'EXÉCUTION, A L'ENTRETIEN ET A L'EXPLOITATION DES DISTRIBUTIONS D'EAU.

Devis des fournitures de fonte pour l'entretien et l'amélioration de la distribution de Paris.	165	276
Série de prix applicable aux fournitures de fonte.	166	284
Devis d'entretien des conduites et ouvrages accessoires dépendant de la distribution des eaux de Paris.	167	284
Série de prix applicable aux travaux de fontainerie concernant les conduites et ouvrages accessoires dépendant de la distribution des eaux de Paris.	168	301
Prix de revient des robinets-vannes, et ventouses à flotteur confectionnés à l'atelier de Chaillot.	169	317
Prix des tuyaux en tôle et bitume (système Chameroy, tarif 1853).	170	317
Soumission pour abonnement, acceptation, règlements des abonnements.	171	318

CHAPITRE XV.

TABLES POUR FACILITER LES CALCULS RELATIFS AU MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES CONDUITES FORCÉES ET DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

De l'usage des tables. — Exemples. — Conversion des mesures de débit.	172	324
Débit en mince paroi.		328
Service d'extrémité ou uniforme en route.		329
Service mixte.		334
Service en route par deux réservoirs.		335
Aqueduc rectangulaire.		336
TABLE I. Hauteurs et fonction de la charge par mètre correspondant aux vitesses de l'eau dans les conduites.		338
TABLE II. Coefficients de contraction des orifices en mince paroi.		344
TABLE III. Débit des tuyaux de divers diamètres, suivant la charge par mètre.		346
TABLE IV. Fonctions du diamètre.		352
TABLE V. Fonctions du débit.		356

Digitized by Google

SECONDE PARTIE.

ESSAI SUR LES MOYENS DE CONDUIRE, D'ÉLEVER ET DE DISTRIBUER LES EAUX.

EXTRAIT DE L'OUVRAGE DE GENIEYS.

DESCRIPTION DES FILTRES DE TOULOUSE.

EXTRAIT DU MÉMOIRE DE M. D'AUBUISSON.

Pages.

Introduction historique. 1

DE L'ÉTABLISSEMENT DES CANAUX DE DÉRIVATION.

Considérations physiques qui servent à déterminer les éléments variables de la formule du mouvement uniforme. 21
Application au canal de l'Ourcq, à Paris. 24

DE L'ÉTABLISSEMENT DES AQUEDUCS.

Considérations sur le mouvement de l'eau dans un aqueduc. 26
Principes d'après lesquels on doit régler la vitesse de l'eau dans un aqueduc. . 31
Aqueducs : de Nîmes; — du mont Pyla, à Lyon; — de Metz; — de Trappes; — de Roquencourt; — de Caserte; — de Montpellier; — de ceinture, à Paris. . 34

DU JAUGEAGE DES EAUX.

Unité de mesure dont on se sert dans le jaugeage des eaux courantes. . . . 38
Description de l'appareil qui donne le pouce d'eau. — Le double module d'eau. 39
Jaugeage de l'eau qui s'écoule par un petit orifice. 40
Jaugeage de l'eau d'un ruisseau. 41
Détermination de la vitesse de l'eau par le tube de Pitot. — Au moyen d'un corps flottant ou immergé. — Par le dynamomètre. 42
Considérations générales sur les différentes méthodes employées pour le jaugeage des eaux courantes. 46

DES POMPES.

Principes sur lesquels est fondée la théorie des pompes à eau. 48
Description de la pompe aspirante. . . . . *Id.*
Théorie mathématique du mouvement de l'eau dans la pompe aspirante. . . 51
Description de la pompe aspirante et foulante. 56

COMPARAISON ENTRE LES DIFFÉRENTS MOYENS QU'ON PEUT EMPLOYER POUR FOURNIR DE L'EAU A UNE VILLE.

Qualités des eaux. 58
Sûreté de la distribution. 59
Économie dans la dépense. 60
Application à Paris. 61

CONDUITE.

Les ouvrages principaux qui entrent dans la composition d'une conduite sont les tuyaux, les robinets et les ventouses. 65

Digitized by Google

Pages.

La formule du mouvement de l'eau dans une conduite isolée n'est pas applicable à un système de conduites qui s'embranchent les unes sur les autres. . *Id.*
Considérations sur la pression variable qui s'exerce à chaque point de la paroi d'une conduite. 66
La pression qui s'exerce sur la paroi d'embranchement, à l'origine du point de réunion, diffère de la pression sur la paroi de la conduite principale. . . 67
Évaluation de la différence entre ces deux pressions pour les vitesses ordinaires. *Id.*
La différence de pression est si petite qu'on peut, au moyen d'une correction, supposer que les deux pressions sont égales. 70
Des différentes espèces de tuyaux. 72
De la résistance des tuyaux. . . . . *Id.*
Détermination de l'épaisseur des tuyaux. 76
De la visite et de l'essai des tuyaux en fonte de fer. 78
De l'assemblage des tuyaux. 79
De la pose des conduites. 87
Des différentes espèces de ventouses. 90

DÉGORGEMENT.

Établissement des réservoirs et bassins. 92
Établissement des fontaines publiques. 96
Lavage des rues et des égouts. 97
Distribution dans les maisons des particuliers. 99

CLARIFICATION ET DÉPURATION DES EAUX.

Clarification par la précipitation ou le repos. 101
— par l'emploi des réactifs, et notamment de l'alun. . . . . *Id.*
Filtration à travers les pores de certains corps.. 102
Filtration par l'emploi du charbon. 103
Fontaines domestiques. — Tonneau-filtre. — Filtre portatif. — Filtre marin. . 105
Établissement du quai des Célestins, à Paris. 107
— de la Boule-Rouge, à Paris. 109
Filtre à double courant. 110
Expériences de filtration. 114
Appareils de filtrage employés dans les fontaines marchandes de Paris. . . . 117

DISTRIBUTION D'EAU DE TOULOUSE.

Extrait relatif à l'établissement des filtres naturels. 119

Vocabulaire des termes techniques de fontainerie 131
Description des planches. 149

FIN DE LA TABLE.

Digitized by Google

TRAITÉ

DE LA CONDUITE ET DE LA DISTRIBUTION

DES EAUX

CHAPITRE I.

DE LA QUANTITÉ ET DE LA QUALITÉ DES EAUX A DISTRIBUER. — DES DIVERS PROCÉDÉS DE FILTRATION EN USAGE.

1. La quantité d'eau nécessaire pour les nombreux usages auxquels on peut l'employer dans une ville varie nécessairement d'un pays à l'autre, suivant les climats et les habitudes locales.

D'après les médecins, un homme dans des conditions moyennes absorbe par jour environ deux litres d'eau (voir plus loin). Voilà la quantité rigoureusement indispensable, au-dessous de laquelle commencerait la souffrance physique. Quant à la consommation pour l'usage extérieur ou de propreté, on l'évalue à Paris à dix-huit litres. Ainsi chaque habitant d'une maison est censé consommer vingt litres d'eau, lorsque cette eau lui est fournie à discrétion. Mais nous ne parlons ici que de l'habitant ordinaire et qui n'exerce aucune des professions qui consomment beaucoup d'eau, telles que celles des teinturiers, brasseurs, bains et lavoirs publics, etc., etc. Nous ne parlons pas non plus des animaux domestiques, des chevaux surtout, si nombreux dans les villes, de l'alimentation des machines à vapeur, de l'arrosement des jardins : en tenant compte de toutes ces consommations, qui peuvent être considérées comme proportionnelles au nombre des habitants, on arrive au chiffre moyen de cinquante litres par habitant. Voici du reste quelles sont, à Paris, les bases des évaluations pour les abonnements :

Digitized by Google

Par personne	20 litres
Par cheval	75
Par voiture de luxe à deux roues	40
— — à quatre roues	75
Par mètre carré de jardin, 500 litres par an, par jour	1,50
Par force de cheval d'une machine à haute pression	1,50
— — à détente et condensation	10
— — à basse pression	20
Par bain	300
Par litre de bière faite	4

Les autres industries sont évaluées au moyen de renseignements particuliers pris dans les établissements.

En dehors des usages domestiques ou industriels, l'eau est employée à des usages publics, pour arrosement de la voie publique, pour laver les ruisseaux des rues, les égouts, enfin à des écoulements de luxe, tels que les fontaines monumentales, jets d'eau, entretien de pièces d'eau ou rivières artificielles. Ces divers besoins sont fort difficiles à évaluer; nous ne pouvons fournir à leur égard que des renseignements assez vagues.

A Paris, chaque arrosement de la voie publique consomme environ un litre par mètre carré. Dans les grandes chaleurs, on en fait souvent trois par jour. Pour laver les ruisseaux, il faut une borne-fontaine sur chaque sommet de pente; à Paris, on devait lui faire répandre 10 m.c. d'eau par jour. L'insuffisance actuelle du diamètre des conduites fait réduire cette quantité à 5 ou 6 m.c. Quant à la dépense des fontaines monumentales, elle est excessivement variable; nous ne pouvons donner que quelques exemples des fontaines les plus connues de Paris, qui pourront servir de terme de comparaison pour celles qu'on voudrait établir.

Gerbe du Palais-Royal	23	litres par seconde.
Place Saint-Georges	1	—
Place Richelieu	9	—
Fontaine de la place de la Concorde (chaque)	55	—
Gerbe du rond-point des Champs-Élysées	25	—

On trouvera dans le tableau suivant la quantité d'eau distribuée dans diverses villes.

Digitized by Google

NOMS DES VILLES.	QUANTITÉ D'EAU TOTALE en pouces [1].	NOMBRE DE LITRES par jour et par habitant.	OBSERVATIONS.
Rome (sources).....	7,500°	944[1]	
Dijon (source).....	202 à 900	198 à 678	
Carcassonne (rivière).....	moyenne 300	300 à 400	
Gênes.....	»	100 à 120	
Glascow.....	»	100	
Londres (depuis 1829).....	»	95	
Narbonne (rivière).....	maxim. 100	80 à 85	
Toulouse (rivière).....	208 à 260	62 à 78	
Genève.....	»	74	
Philadelphie.....	»	60 à 70	
Grenoble (sources).....	moyenne 80	60 à 65	
Vienne (Isère) (sources)...	environ 40	60 à 65	
Montpellier (source).....	environ 100	50 à 60	
Greenoch.....	»	57	
Clermont (source).....	moyenne 75	50 à 55	
Edimbourg.....	»	50	
Le Havre (sources).....	moyenne 75	40 à 45	
Lons-le-Saulnier (sources)..	environ 20	40 à 45	
Gray (rivière).....	18 à 20	40 à 45	
Manchester.....	»	44	
Angoulême (rivière).....	environ 30	35 à 40	
Chaumont (rivière).....	10 à 12	30 à 35	
Liverpool (sources).....	»	28	
Metz (sources).....	40 à 45	20 à 25	
Saint-Etienne (rivière).....	moyenne 40	20 à 25	
Dôle (rivière).....	environ 10	15 à 20	
Béziers (rivière).....	moyenne 10	12 à 14	
Paris (sources et rivière)...	environ 3,000°	60	2,500° d'eau de l'Ourcq ne sont pas distribués; la distribution va être portée à 6,000° ou à 120 lit. par habitant.

Rien n'est donc si variable que la quantité d'eau distribuée dans les villes. Cela tient à plusieurs causes. D'abord, c'est que la quantité d'eau distribuée n'est pas toujours la seule consommée. Quand une distribution est récente, les anciens moyens d'alimentation, puits, pompes, ruisseaux, réservoirs, etc., continuent d'en fournir pendant longtemps. A Paris, par exemple, presque toutes les maisons ont encore leur pompe ou leur puits, et beaucoup d'habitants ne prennent à la distribution que l'eau qui doit servir à la boisson ou à la cuisson des aliments. Les usages publics de l'eau sont ensuite très-variables d'une ville à l'autre. A Londres, on ne lave jamais les ruisseaux, mais on envoie une grande quantité d'eau dans les watter-closets, qui sont en communication directe avec les égouts. A Paris, ce

[1] Le pouce d'eau, qu'on désigne ainsi 1°, correspond à environ 20$^{m.c.}$ par 24 heures. — Voir plus loin le Vocabulaire de Genieys pour ce mot et pour tous les mots techniques qu'on rencontrera dans le texte.

Digitized by Google

dernier écoulement n'a lieu que dans les maisons riches, et encore avec beaucoup de parcimonie, attendu qu'il en coûte 10 fr. par mètre cube pour retirer l'eau introduite dans les fosses. A Londres, il n'y a de fontaines monumentales que sur une seule place, et quelles fontaines ! A Paris, dont la population est moitié moindre, il y en a 54, la plupart d'un grand débit. La richesse des habitants, les habitudes de propreté influent beaucoup sur la consommation. On a constaté à Glascow que des pauvres qui avaient de l'eau à discrétion, au moyen de robinets placés dans des cours, n'en consommaient que 4l,50 par tête, tandis qu'à Paisley ils en consommaient 6,30 dans les mêmes circonstances, parce que les maisons étaient moins hautes. A mesure qu'on diminue les sacrifices nécessaires pour se procurer de l'eau, la consommation augmente.

2. Lors donc qu'on projette une distribution pour une ville, il faut tenir compte, dans une juste mesure, des besoins présents et des besoins à venir : non pas qu'il faille dès l'origine faire tous les sacrifices nécessaires pour doubler ou tripler la distribution, loin de là ; les sommes ainsi inutilement dépensées représenteraient par la suite un capital beaucoup plus considérable que celui qui serait nécessaire pour compléter la distribution. Il faut, au contraire, donner à tous les travaux des dispositions qui permettent d'augmenter la distribution avec le moins de perte possible. Il ne faut pas qu'une économie de 1 fr., faite aujourd'hui, amène une dépense de 10 fr. dans vingt ans. Si, par exemple, les besoins d'une ville n'exigeaient que 200°, et que la distribution dût être alimentée au moyen de sources amenées par un aqueduc, ce serait une faute que de ne pas amener 300°, si tel était le produit des sources, parce que, comme on le verra plus tard, cela n'entraînerait qu'à une augmentation de dépense insignifiante, et il serait toujours facile de trouver un usage immédiat quelconque pour les eaux surabondantes.

3. Enfin, il faut éviter dans ces évaluations les erreurs qui résultent de l'abus qu'on fait trop souvent de l'introduction dans les calculs de quantités moyennes, soit pour l'alimentation, soit pour la consommation. La consommation d'eau est très-variable suivant les saisons. Si une ville consomme 200 pouces en moyenne, il est très-possible que la consommation pendant les grandes chaleurs s'élève à 250 et même à 300°, tandis qu'elle tombera à 150 et même à 100, pendant l'hiver et les jours pluvieux. Si donc l'alimentation se fait par une machine à vapeur, il faudra

Digitized by Google

qu'elle soit capable d'élever 300° en vingt-quatre heures, mais l'excédant de charbon brûlé pendant certains jours sera compensé par la diminution qui aura lieu dans d'autres, et pourra se calculer sur 200°. Si l'alimentation se fait au moyen de sources amenées par des aqueducs, il faudra que le minimum du produit des sources soit suffisant pour le maximum de consommation. Or, rien n'est variable comme le produit des sources, non-seulement d'une saison à l'autre, mais d'une année à l'autre [1]. Lors donc qu'on a recours à ce moyen d'alimentation, il faut se mettre en garde contre cette irrégularité de produit, et ne compter que sur le minimum. Cependant, lorsque la distribution comporte plusieurs moyens d'alimentation, cette irrégularité n'a pas les mêmes inconvénients, et on peut utiliser le produit entier de la source. Supposons qu'une distribution, dont la dépense maximum est de 300°, soit alimentée 1° par une source dont le produit moyen est de 100°, le maximum de 200, et le minimum de 40; 2° par une machine à vapeur pouvant élever 400° en vingt-quatre heures. Il est clair qu'en faisant marcher la machine à vapeur comme supplément de la source, on économisera tout le charbon correspondant à son débit moyen.

4. On peut aussi remédier à l'irrégularité de l'alimentation par des

[1] Voici les produits maxima et minima, pendant ces dernières années, des sources qui entrent dans la distribution d'eau de Paris; ils donneront une idée de l'irrégularité de ce mode d'alimentation.

ANNÉES.	AQUEDUC D'ARCUEIL.		BELLEVILLE.		PRÉS-SAINT-GERVAIS.	
	PRODUITS.		PRODUITS.		PRODUITS.	
	Maximum.	Minimum.	Maximum.	Minimum.	Maximum.	Minimum.
1852	65°	32°	16°	7°	18°	9°
1851	111	47	36	10	39	8
1850	98	53	42	14	75	16
1849	81	46	26	12	29	13
1848	181	65	27	15	29	13
1847	172	69	25	18	30	20
1846	268	89	46	15	57	19
1845	196	103	120	20	150	21
1844	150	68	32	14	49	15
1843	150	61	100	10	75	10
1842	147	62	37	5	33	6
1841	322	90	47	8	78	7
1840	223	95	120	9	140	10
1839	205	78	100	16	120	15
1838	92	57	21	10	21	8

Digitized by Google

étangs ou réservoirs d'une plus ou moins grande capacité. La distribution de Versailles fournit un exemple remarquable de ce moyen. Les eaux des sources et de pluie sont réunies dans plusieurs étangs, dont la surface, y compris les rigoles, est de plus de 1,200 hectares, et qui peuvent contenir 8 millions de mètres cubes. Dans les années de sécheresse, quoique ces étangs reçoivent les eaux pluviales d'une superficie de terrain de 15,000 hectares, ils ne reçoivent par an que 1,300,000 m. c. d'eau; en temps ordinaire, on peut disposer de 4 millions de mètres cubes. L'entretien de ces étangs et de ces rigoles coûte 50,000 francs par an. Sous le rapport de la qualité des eaux, le résultat n'est pas plus favorable. Voici comment s'exprime à cet égard une Commission d'ingénieurs chargée par le ministre d'État d'étudier la question d'amélioration des eaux de Versailles : « Pendant les chaleurs, les eaux se corrompent et seraient funestes « à la santé des habitants de Versailles, s'ils n'avaient pas d'autre boisson. « Cette altération de l'eau des étangs tient à ce que, sous l'influence des « rayons solaires, cette eau peu profonde s'échauffe et donne naissance à « une végétation très-active de plantes aquatiques qui, par leurs débris, « nourrissent des myriades d'insectes, dont les générations rapides meurent « et se décomposent dans le cours d'une saison. »

Il est donc permis de considérer les étangs et réservoirs d'une capacité suffisante pour remédier à l'irrégularité de l'alimentation, comme un procédé très-défectueux, lorsqu'il s'agit de conserver l'eau pendant plusieurs mois et qu'on la destine à une distribution de ville. C'est un système qui ne nous paraît guère applicable qu'à l'alimentation des canaux de navigation ou d'irrigation.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet; les détails dans lesquels nous venons d'entrer permettront toujours d'apprécier d'une manière assez exacte la quantité d'eau nécessaire à une distribution, c'est la partie la plus facile de la question. Nous allons nous occuper maintenant de la qualité des eaux.

5. L'eau naturelle qu'on trouve sur la surface ou dans l'intérieur du sol n'est pas pure; elle contient, en plus ou moins grande quantité, 1° des sels en dissolution; 2° des matières insolubles en suspension. Ce n'est que par des procédés chimiques, trop dispendieux pour être appliqués à de grandes masses d'eau, qu'on peut parvenir à débarrasser l'eau des sels qui s'y trouvent dissous. Lors donc que les eaux en contiennent une quantité trop

Digitized by Google

considérable, on renonce à leur usage et on va plus loin en chercher de plus pures. Quant aux matières en suspension, qui ne sauraient nuire à la santé, mais qui sont un objet de dégoût et un inconvénient pour certains usages, on peut s'en débarrasser par le repos et le filtrage. Quoique ce soit là une cause d'assez grande dépense, on est souvent obligé de s'y résigner pour éviter d'autres inconvénients ou d'autres dépenses plus considérables.

Nous allons nous occuper d'abord des matières en dissolution, et tâcher de faire connaître d'une manière générale les caractères d'une bonne et d'une mauvaise eau.

Le plus essentiel et le plus facile à reconnaître, c'est celui de l'odeur et de la saveur. C'est en vain qu'une eau serait parfaitement limpide, parfaitement pure à l'analyse chimique; si elle avait un goût ou une saveur désagréable, il est évident qu'elle ne pourrait servir à une distribution d'eau. Nous n'insistons pas davantage sur cette question, parce qu'elle n'a besoin d'aucune connaissance pour être tranchée, et qu'elle se trouve par conséquent à la portée de tout le monde.

6. La question de l'influence des diverses matières en dissolution dans l'eau est de la compétence des chimistes et des médecins. Nous ne pouvons donc avoir la prétention de la traiter d'une manière complète; nous nous bornerons à emprunter à divers ouvrages spéciaux les connaissances générales qui peuvent être utiles soit à un ingénieur, soit à un administrateur chargé de l'étude ou du soin d'établir une distribution d'eau, et les mettre à même de consulter avec fruit des chimistes ou des médecins.

L'*Annuaire des eaux de la France pour* 1851, publié par une Commission composée des médecins et des chimistes les plus distingués, peut être considéré comme l'exposé le plus complet de l'état de la science sur la question qui nous occupe. Nous ne saurions donc mieux faire que d'y puiser les renseignements dont nous avons besoin.

Les eaux douces y sont considérées dans leurs rapports avec l'agriculture, l'industrie et l'hygiène.

Dans une remarquable introduction, destinée à faire comprendre le rôle immense de l'eau dans la nature, et à exposer l'historique des recherches dont elle a été l'objet, le rapporteur de la Commission signale plusieurs faits qu'il nous paraît essentiel de reproduire.

« ... On concevra facilement l'influence que peuvent exercer sur l'éco-
« nomie les sels dissous, même en très-petite proportion, lorsque l'on

Digitized by Google

« réfléchit qu'un homme dans des conditions moyennes absorbe par jour « environ deux litres d'eau. Aussi voyons-nous l'opinion de tous les temps « et de tous les lieux unanime à attribuer à la qualité des eaux, soit des « effets pathologiques accidentels, soit l'existence de maladies endémiques. « Nous admettons que ces opinions se sont souvent établies sans preuves « bien réelles; mais nous pensons que, dans tous les cas, on ne pourra « exprimer une opinion formelle à cet égard qu'après un examen analytique « des eaux, et que même alors on devra être extrêmement réservé à nier « cette influence. Par la même raison, nous concevrons que des eaux « contenant des gaz utiles à la digestion, ou des sels favorables à l'économie, « deviennent, par un usage habituel, l'agent hygiénique le plus sûr et le « plus rationnel.

. . . . . .

« Si, employée avec intelligence et discernement, l'eau produit les plus « grands bienfaits, elle peut devenir, par l'incurie ou l'ignorance, la source « des plus grands désastres.

. . . . . .

« Les eaux douces se partagent assez naturellement en eaux de pluie, « eaux de sources, eaux de rivières, eaux de lacs et d'étangs, et eaux de « puits. L'eau de pluie, au moment où elle vient d'être recueillie, n'est pas « parfaitement pure ; on sait qu'elle contient souvent, et principalement « la pluie d'orage, une très-petite quantité d'acide azotique libre ou com- « biné avec l'ammoniaque. Des recherches toutes récentes y ont même « signalé des traces d'iodure.

. . . . . .

« Les eaux de sources résultant de l'infiltration de l'eau pluviale à tra- « vers les roches sous-jacentes, doivent nécessairement offrir de grandes « variétés dans leur composition. On devra donc, dans l'examen des « sources d'une contrée, tenir compte avec un grand soin de la nature des « roches qu'elles doivent traverser.

. . . . . .

« Les puits ordinaires étant placés au voisinage des habitations, leurs « eaux se chargent le plus souvent de substances qui doivent leur origine, « soit aux diverses fonctions de la vie animale, soit au produit des indus- « tries ou de l'économie domestique. On y trouve parfois, en proportions « considérables, outre les sels habituels des eaux douces, des sulfates, des

Digitized by Google

« phosphates, des azotates, des matières organiques azotées. Or, il existe « encore en France une foule de localités dont les habitants emploient, « exclusivement ou en partie, les eaux de puits, soit aux nécessités do- « mestiques, soit à l'alimentation. Il faut ajouter que c'est principalement « dans ces localités que, de tout temps, les auteurs ont attribué à la qualité « des eaux des influences fâcheuses sur la santé générale de la population. « Il ne sera pas rare de rencontrer des eaux de ce genre qui, peu chargées « de sels, dissolvant très-bien le savon, sont néanmoins complétement « impropres à l'alimentation, par suite de la matière organique souven « fétide qu'elles dissolvent.

« L'eau charriée par les *rivières*, résultant à la fois de l'écoulement « superficiel des eaux pluviales et de la réunion de toutes les sources qui « se rendent dans leur lit, aura une composition intermédiaire entre celle « de l'eau pure et celle des sources. Généralement moins pourvue de sels « minéraux que les dernières, les gaz qu'elle dissoudra se rapprocheront « plus de l'air atmosphérique, et elle présentera aussi une plus grande « quantité de matières organiques, soit par l'effet des eaux pluviales sur « les couches superficielles, soit par le voisinage des usines ou des villes « dont elle reçoit les égouts.

. . . . . .

« C'est ici le lieu de remarquer que certaines rivières, en circulant « dans des plaines marécageuses ou tourbeuses, peuvent contracter des « propriétés extrêmement fâcheuses. Elles y perdent, par l'influence de « la végétation, la presque totalité de leur oxygène, et y dissolvent des « substances d'origine organique qui, en même temps qu'elles leur « communiquent une fadeur et une odeur souvent désagréables, les « rendent très-insalubres, quoique souvent peu chargées de sels miné- « raux. »

Nous ne pouvons que renvoyer à l'*Annuaire des eaux*, relativement à ce qui concerne les caractères qui les rendent propres aux usages industriels et agricoles. On comprend parfaitement que des eaux qui ne sont pas potables puissent trouver là un emploi fort utile; mais comme une distribution de ces eaux ne peut que rarement se présenter, et que, d'un autre côté, les eaux potables sont toujours propres aux usages agricoles et industriels, nous nous contenterons de parler ici des caractères des bonnes eaux au point de vue de l'hygiène, et, eu égard à l'importance du sujet, à

Digitized by Google

la manière claire et précise dont il y est traité, nous transcrirons ici d'une manière complète ce passage de l'*Annuaire*.

« On admet généralement qu'une eau peut être considérée comme bonne « et potable quand elle est fraîche, limpide, sans odeur; quand sa saveur « est très-faible, qu'elle n'est surtout ni désagréable, ni fade, ni salée, ni « douceâtre; quand elle contient peu de matières étrangères, quand elle « renferme suffisamment d'air en dissolution, quand elle dissout le savon « sans former de grumeaux et qu'elle cuit bien les légumes.

« Nous reviendrons plus loin sur quelques-uns de ces caractères, en « cherchant à apprécier l'influence des différents corps qu'on trouve ha- « bituellement dans les eaux potables.

Influence de l'air et du gaz acide carbonique sur la qualité des eaux potables.

7. « Une faible proportion d'acide carbonique donne une légère sapi- « dité à l'eau et la rend plus agréable, en même temps qu'elle facilite les « fonctions digestives par une légère excitation. Sa présence dans une eau, « même en petite quantité, peut donc être regardée comme utile. Tous « les auteurs admettent, en outre, qu'une eau de bonne qualité doit con- « tenir de l'air en dissolution; plusieurs ont avancé que c'est particuliè- « rement l'oxygène dont l'influence est favorable, et ont même attribué à « son absence dans les eaux provenant de la fonte des neiges certaines « maladies plus particulièrement endémiques aux vallées montagneuses.

Influence des matières organiques sur la qualité des eaux potables.

8. « Sauf de très-rares exceptions, les eaux qui tiennent en dissolution « une proportion notable de matières organiques se putréfient vite et ac- « quièrent des propriétés nuisibles. Il est bien évident que des diarrhées, « des dyssenteries et d'autres maladies aiguës ou chroniques ont été endé- « miquement déterminées par l'usage continué quelque temps d'eau de « mares, de marais ou de puits, tenant des proportions trop grandes de « matières organiques altérées, soit en suspension, soit en dissolution. On « admet donc comme un résultat général d'observation, que, toutes choses « égales, moins une eau potable contient de matières organiques, meilleure « elle est.

Digitized by Google

Influence des matières fixes sur la qualité des eaux potables.

9. « Les eaux qui contiennent des proportions élevées de matières fixes « en dissolution ont, presque toutes, une saveur désagréable, une action « purgative prononcée ou une action altérante nuisible sur l'ensemble de « la nutrition. Une eau peut contenir un demi-millième environ de cer- « taines matières fixes que nous indiquerons plus loin, et être considérée « encore comme une eau potable de bonne qualité. Mais voilà à peu près « la limite d'impureté qu'une eau peut atteindre sans inconvénient.

« La plupart des eaux potables de bonne qualité, et en particulier les « eaux des fleuves et des rivières, contiennent généralement de 1 à 2 dix- « millièmes de matières organiques.

« La plupart des auteurs qui se sont occupés des qualités hygiéniques « des eaux pensent qu'une eau potable est d'autant meilleure qu'elle se « rapproche le plus de l'état de pureté, et que les seules substances étran- « gères à l'eau, qui soient nécessaires pour en faire une eau potable d'ex- « cellente qualité, sont l'air et l'acide carbonique qu'elle doit tenir en dis- « solution ; d'autres personnes soutiennent, au contraire, que certaines « matières, en petite proportion, sont tout à fait nécessaires, non-seulement « à la sapidité, mais encore à la bonne qualité des eaux.

« Nous allons examiner cette question en discutant l'influence des chlo- « rures, bromures, iodures, des sulfates, des azotates, des sels calcaires et « magnésiens, sur la qualité des eaux.

Influence des sels calcaires sur la qualité des eaux.

10. « Quand une eau contient plus d'un millième d'un sel calcaire en « dissolution, elle est regardée comme impropre aux usages ordinaires de « la vie : on la range parmi les eaux qu'on désigne habituellement sous les « noms de dures, crues, etc.

« Néanmoins, tous les sels calcaires ne sont pas regardés comme nui- « sibles dans les eaux. La plupart des auteurs[1] pensent que, non-seulement « le bicarbonate de chaux, dans la proportion d'un demi-millième, n'est

[1] A. Dupasquier, *Des eaux de sources et de rivières.*

Digitized by Google

« pas défavorable, mais encore qu'il constitue un élément utile des bonnes « eaux. Voici ce qui peut légitimer cette exception en faveur du carbo- « nate de chaux : dans les eaux potables, il existe une relation nécessaire « entre les quantités d'acide carbonique et de carbonate de chaux qu'elles « contiennent, qui rend presque toujours la proportion du sel calcaire « inférieure ou peu supérieure à un demi-millième. Le carbonate de chaux, « en petite quantité, peut être utile, dans certaines conditions de la diges- « tion, en saturant un excès d'acidité du suc gastrique. L'acide carbonique « en excès, de même que celui qui se dégage, peut favoriser la digestion « stomacale, et le bicarbonate de chaux, sous ce rapport, rendrait un ser- « vice analogue à celui qui est obtenu du bicarbonate de soude des eaux « minérales alcalines; enfin, la petite proportion de chaux que contiennent « ces eaux peut utilement concourir à la nutrition des jeunes enfants, en « fournissant à leurs os un élément indispensable.

Influence des sels magnésiens.

11. « Les sels magnésiens solubles doivent être rangés parmi les pro- « duits inorganiques qui peuvent être administrés en proportion élevée « sans déterminer d'accidents immédiats. Leur emploi médical journalier, « les expériences de M. Bourchardat, relatives à l'action du sulfate de « magnésie sur les animaux qui vivent dans l'eau[1], ne laissent aucun doute « à cet égard ; mais sont-ils également inoffensifs lorsque, se rencontrant « en proportion notable dans les eaux potables, ils interviennent tous les « jours et à chaque instant dans la nutrition de l'homme?

« Quelques observations nouvelles sembleraient indiquer le contraire; « mais, avant de les adopter, une étude sévère des faits est indispensable. « Peut-être ne doit-on rapporter les effets qu'on a attribués aux eaux ma- « gnésiennes qu'à une simple coïncidence, qu'il serait alors très-important « de voir bien préciser.

Influence des sulfates sur la qualité des eaux.

12. « Le sulfate de chaux, en dissolution dans les eaux, joue un rôle « très-différent de celui qu'on a attribué au bicarbonate de chaux. En

[1] *Recherches sur la végétation appliquées à l'agriculture*, page 50.

Digitized by Google

« effet, il n'a pas, comme ce dernier sel, la propriété de dégager un gaz « favorable à l'action digestive et éminemment stable ; il ne peut non plus « fournir, par sa décomposition, un élément basique à un excès d'acidité « gastrique. En outre, l'eau peut en dissoudre une proportion assez grande « pour en acquérir une saveur douceâtre fort désagréable ; enfin, comme « tous les sulfates, il est susceptible de se décomposer sous l'influence « d'une matière organique, en produisant du gaz sulfhydrique, ce qui le « rend, comme nous l'indiquerons plus tard, un élément pernicieux pour « les eaux qui, faute d'écoulement facile, sont exposées à séjourner plus « ou moins longtemps sur le sol. Si l'on ajoute à ces considérations celles « que nous avons déjà exposées, relativement à son action décomposante « sur les savons et à ses propriétés incrustantes, on devra admettre que la « présence, dans les eaux, du sulfate de chaux en quantités notables, est « une circonstance fâcheuse.

Influence des azotates sur la qualité des eaux.

13. « Les azotates, bien qu'ils paraissent entrer dans toutes les eaux « naturelles, se trouvent en trop faibles quantités dans les eaux potables « pour qu'on ait pu jusqu'ici apprécier rigoureusement si, même en très- « petite proportion, ils exercent une action heureuse ou défavorable. Néan- « moins, il y a lieu de penser que l'azotate de chaux agit sur l'économie, « comme dans les usages domestiques, d'une manière analogue au sul- « fate de chaux, tandis qu'il est éminemment favorable au développement « de la végétation.

Influence des chlorures, bromures, iodures sur la qualité des eaux potables.

14. « La très-faible quantité de chlorures de sodium (1 millionième à « peine) qu'on rencontre dans beaucoup d'eaux potables n'exerce vrai- « semblablement sur l'économie qu'une action indifférente, mais plutôt « utile que nuisible. Si l'on a égard à la proportion beaucoup plus élevée « de sel marin qu'on trouve dans les aliments, on comprendra sans « peine qu'une si faible quantité de sel dans l'eau n'a d'autre effet que de « concourir avec les autres substances à sa sapidité. Mais on doit remar- « quer que les chlorures en dissolution dans les eaux paraissent constam-

Digitized by Google

« ment accompagnés d'ioduros et de bromures; et des recherches ré-
« centes, en démontrant que certains végétaux qui vivent dans les eaux
« douces jouissent de la propriété de s'assimiler ces sels, y ont établi leur
« présence d'une manière presque constante. Comme ces derniers sels,
« administrés chaque jour, même en quantités extrêmement faibles,
« peuvent exercer sur l'organisme une action dont beaucoup de faits ont
« relevé la puissance, on devra attacher une grande importance à la déter-
« mination rigoureuse des chlorures, iodures et bromures dans les eaux
« potables. Peut-être trouvera-t-on, soit dans leur présence, soit dans leur
« absence bien constatée, l'explication de faits qui pourront conduire à
« d'utiles applications.

« En résumé, on voit, par cette courte exposition, combien l'analyse
« chimique a encore à faire pour éclairer les problèmes importants qui se
« rattachent à l'hygiène des eaux potables. Si jusqu'ici on a pu dire, avec
« quelque fondement, que l'analyse chimique ne suffit pas pour que l'on
« puisse déclarer, d'après ses résultats, qu'une eau potable est de bonne
« ou de mauvaise qualité, et qu'il faut n'affirmer qu'une eau est propre
« aux usages hygiéniques qu'après s'être assuré, par une enquête, que
« ceux qui en boivent n'éprouvent aucun inconvénient de son usage, et que
« leur constitution et leur santé n'en ont reçu aucune modification fâcheuse;
« si cette réserve est encore nécessaire aujourd'hui, nous avons l'espé-
« rance que, grâce au développement que prendront nécessairement ces
« recherches, les problèmes les plus importants de l'hygiène des eaux
« pourront prochainement, sinon être entièrement éclaircis, au moins
« marcher à grands pas vers une solution scientifique. »

15. Le fait saillant de cette citation, c'est que toute eau qui contient plus d'un millième de sels dissous, c'est-à-dire un gramme par litre, est une eau mauvaise; que cependant le bicarbonate de chaux ne doit pas être confondu avec les autres sels, et que sa présence est plutôt utile que nuisible. Si nous ne nous trompons, M. le docteur Dupasquier, qui, à propos des eaux de Lyon, a publié un ouvrage fort estimé sur les eaux, est le premier qui ait insisté sur cette distinction importante. Voici comment il s'exprime à cet égard :

« Jusqu'à présent, l'action du bicarbonate de chaux sur les eaux potables
« a été confondue avec celle des autres sels calcaires : c'est une erreur
« qu'il importe de détruire. Le carbonate de chaux, en effet, à moins

Digitized by Google

« qu'il n'existe en trop grande proportion, telle, par exemple, que dans « les eaux de Saint-Alyre [1] et de Saint-Nectaire, en Auvergne, dans celle « de San-Felippo, en Toscane, doit être considéré comme un principe « utile, et je dirai même nécessaire dans les eaux, puisqu'il est reconnu « que celles privées de toute matière fixe n'ont pas les qualités qui les « rendent propres à être usitées comme boisson. Les effets thérapeutiques « de ce sel, effets bien connus des médecins, expliquent d'ailleurs l'utilité « de sa présence dans les eaux potables.

« Le carbonate de chaux est insoluble, ou du moins à peu près insoluble « dans l'eau pure, mais il peut cependant y être tenu en solution par un « excès d'acide carbonique; c'est le cas des eaux potables qui en con- « tiennent. En absorbant une plus grande quantité d'acide pour se dis- « soudre, il passe à l'état de bicarbonate, et agit alors sur l'estomac à la « manière du bicarbonate de soude et du bicarbonate de potasse, base des « tablettes de Vichy, qui sont placées au premier rang parmi les substances « propres à exciter l'action digestive de l'estomac. Les médecins emploient « souvent le carbonate de chaux (yeux d'écrevisse, craie, etc.) dans les « embarras gastriques, les aigreurs des premières voies, pour saturer les « acides de l'estomac. Le bicarbonate de chaux des eaux potables est « décomposé, comme les bicarbonates alcalins, par l'acide du liquide gas- « trique, avec dégagement d'acide carbonique; il opère de même que « ceux-ci, en saturant les acides de l'estomac et en stimulant sa mem- « brane muqueuse par l'acide carbonique qu'il laisse dégager en se dé- « composant. Rien n'est donc plus certain et plus évident que l'action « utile de ce sel dans l'acte de la digestion. »

Qu'on nous permette de faire quelques objections contre une opinion qui se présente avec tant d'autorité, puisque, admise d'abord par un habile chimiste, elle paraît avoir été adoptée par la Commission de l'*Annuaire des eaux*. A Dieu ne plaise que nous voulions contester l'action bienfaisante de

[1] « D'après l'analyse de M. Girardin, l'eau de Saint-Alyre contient, *par litre*, indépendamment « de plusieurs autres sels :

	Gram.
« Carbonate de chaux	1,63
« Carbonate de magnésie	0,38
« Carbonate de fer	0,14

« Un litre de l'eau des quatre sources des bords de la Saône n'a donné, à l'analyse, que 0 gramme 21 centigrammes de carbonate de chaux.

Digitized by Google

l'absorption du carbonate de chaux par l'estomac; mais il nous semble que cette action est limitée au cas où l'eau est ingérée à l'état froid. Or, ce n'est là qu'une très-petite partie de son usage. Sur une distribution de cinquante litres par habitant, il y en a à peine un qui serve comme boisson froide; si, d'après les médecins, un second litre est absorbé, il ne l'est qu'après avoir été soumis à la chaleur, soit pour boisson, soit pour cuisson des aliments. Or, qu'arrive-t-il alors? Evidemment, l'acide carbonique s'est dégagé et on ne peut plus rien attendre de lui, et le carbonate de chaux précipité ne peut avoir que des effets nuisibles. Il en sera de même pour la plupart des autres usages de l'eau [1]. Enfin elle aura un autre inconvénient très-grand, c'est qu'elle pourra engorger les conduites par des dépôts calcaires. Les eaux d'Arcueil en présentent un exemple frappant. Ces eaux qui, à la source, ne contiennent que $0^{g},38$ (par litre) de carbonate de chaux, déposent, le long de l'aqueduc qui les conduit à Paris, un sédiment calcaire très-abondant; et quoiqu'au réservoir de l'Observatoire il n'y ait plus que $0^{g},218$ de bicarbonate en dissolution, cette quantité suffit pour engorger les conduites au bout d'un certain temps. L'analyse des concrétions a donné à MM. Boutron et Henry les résultats suivants :

[1] Ayant consulté à cet égard deux habiles chimistes, MM. Boutron et Boudet, nos collègues au Conseil de salubrité, nous en avons reçu la réponse suivante :

« Lorsque l'eau contient une proportion de bicarbonate ou de sulfate de chaux équivalant à « $0^{g},3$ de chaux par litre, soit en bicarbonate $0^{g},77$, soit en sulfate 0,73, elle est d'un emploi dif- « ficile pour le savonnage.

« Le bicarbonate de chaux paraît être sans action sur la durée et la perfection de la cuisson des « légumes. Dès que l'eau chargée de ce sel entre en ébullition, le bicarbonate se trouve décom- « posé en acide carbonique qui se dégage et en carbonate de chaux qui se précipite sans se « combiner avec la substance même des légumes. La présence du carbonate de chaux dans le « liquide est le seul inconvénient qui résulte de l'emploi d'eau chargée de bicarbonates calcaires « pour les préparations culinaires. Il n'en est pas de même de l'eau chargée de sulfate de chaux. « Lorsqu'on fait cuire des haricots dans de l'eau qui contient par litre 0,73 de sulfate de chaux, « et comparativement dans de l'eau d'Ourcq, qui contient moins de chaux à l'état de sulfate ou de « carbonate, on voit qu'ils sont beaucoup moins bien cuits dans la première que dans la seconde. « Tandis que, dans celle-ci, ils sont très-tendres, présentent des pellicules déchirées et sont « entourés d'un liquide trouble, dans l'autre ils conservent leur pellicule entière, le sulfate de « chaux s'est combiné avec elle, l'a incrustée et rendue moins perméable à l'eau ; aussi la fécule « intérieure s'est-elle moins gonflée, moins attendrie que dans une eau plus pure, et n'a pas « déchiré son enveloppe. »

M. Ward, membre du Comité de l'Association sanitaire de Londres, dans une brochure sur les eaux de Bruxelles, prétend que 1 gramme de chaux, dissous dans de l'eau, précipite, et par conséquent détruit inutilement, 16 grammes de savon. Un effet destructeur analogue aurait lieu pour le thé et le café.

Digitized by Google

Carbonate de chaux	9,00
— de magnésie	0,60
Sulfate de chaux	0,22
Acide silicique Oxyde de fer Matières organiques	0,18
	10,00

A ma demande, MM. Boutron et Boudet ont bien voulu analyser les incrustations données par les eaux de l'Ourcq, beaucoup moins incrustantes que les eaux d'Arcueil, et ils ont trouvé :

Carbonate de chaux	76
Oxyde de fer	19
Silice, alumine et sulfate de chaux	05
	100

Ainsi, il est constant que l'incrustation est toujours due au carbonate de chaux, que le sulfate n'y entre que pour une proportion insignifiante. Cela se conçoit facilement, puisque ce dernier sel est soluble jusqu'à un certain point, tandis que le carbonate, ne l'étant qu'à l'aide d'un excès d'acide carbonique, il doit y avoir précipité toutes les fois qu'il y a dégagement d'acide carbonique. C'est ainsi qu'on explique parfaitement les incrustations dans les aqueducs; l'eau en contact avec l'air perdrait une partie de son acide carbonique qui s'y dégagerait. Mais on n'explique pas aussi bien l'incrustation dans les conduites forcées. L'acide carbonique parvient-il à s'échapper par les joints, par les pores de la fonte? Est-ce l'effet de la pression ou d'un changement de température? Quoi qu'il en soit, l'incrustation dans les tuyaux est un fait positif et un inconvénient d'autant plus grave, qu'il n'y a pas de remède préventif. Lorsque l'incrustation a pris une trop grande extension, il faut démonter un certain nombre de tuyaux et nettoyer les autres par des moyens mécaniques. De là de grandes dépenses et une interruption de service.

16. Restent maintenant à fixer les doses de bicarbonate qui rendent l'incrustation possible. Ici, il faut bien le reconnaître, nous ne trouvons rien de précis dans les travaux des chimistes qui se sont occupés des eaux. Ainsi, il est bien constant que, comme nous venons de le dire, l'eau de l'Ourcq incruste beaucoup moins que l'eau d'Arcueil. Cependant, d'après les analyses de l'*Annuaire des eaux*, l'eau de l'Ourcq contiendrait plus de bicar-

Digitized by Google

bonates que l'eau d'Arcueil au moment où on l'introduit dans les conduites (voir le tableau du n° 19). Comment expliquer ce fait? Peut-être, dans les moments où les eaux sont abondantes, arrivent-elles plus chargées que ne l'indique l'analyse. Mais nous trouvons plus loin, dans l'*Annuaire*, des faits bien autrement contradictoires, et tellement importants, que nous croyons devoir les citer textuellement :

Tableau comparatif des analyses des cinq sources qui alimentent la ville de Rouen [1].

	YONVILLE.	DARNETAL.	GAALOR.	NOTRE-DAME.	SAINT-NICAISE.
	g.	g.	g.	g.	g.
Carbonate de chaux	0,182	0,175	0,249	0,492	0,731
Sulfate de chaux	0,032	0,008	0,070	0,154	0,617
Chlorures de sodium, magnésien, calcium	0,018	0,031	0,203	0,136	0,190
Acide silicique	»	»	»	0,002	0,005
	0,232	0,214	0,345	0,781	1,753

D'après l'*Annuaire*, les eaux d'Yonville et de Darnetal sont propres à la cuisson des légumes, et le savon n'y produit aucun trouble : on voit que la proportion de carbonate et de sulfate de chaux est dans les limites convenables. Dans l'eau de Gaalor, *le savon produit, dans le premier moment, une légère lactescence, mais sans grumeaux, ni dépôt, même au bout de vingt-quatre heures*. L'eau de Notre-Dame, par le repos, abandonne une partie de ses sels calcaires, dissous à l'aide d'un excès d'acide carbonique; elle ne cuit pas facilement les légumes, et ne peut servir au blanchissage du linge.

L'eau de Saint-Nicaise est dure, de difficile digestion; elle ne peut ni cuire les légumes, ni dissoudre le savon. Les habitants du quartier Saint-Nicaise n'en ont cependant pas d'autre à leur disposition. Tous ces faits sont conformes à la théorie exposée dans l'*Annuaire* : on remarquera seulement que l'eau qui contient 1g,75 de sels terreux est admise dans la consommation. L'*Annuaire* fournit, au reste, plusieurs autres exemples de cette nature, qui, s'ils ne sont pas à imiter, peuvent rassurer cependant pour l'usage d'autres eaux moins chargées. Mais ce qui nous paraît inexplicable, c'est le fait suivant :

[1] Toutes les analyses de l'*Annuaire* donnent les poids en *grammes* des sels contenus dans *un litre* d'eau.

Digitized by Google

« Aucune des sources de Rouen n'a perdu sensiblement de son volume, « et n'a encombré de ses dépôts calcaires les conduites qui l'amènent aux « diverses fontaines de la ville. Et cependant trois d'entre elles, celles de « Gaalor, de Notre-Dame et de Saint-Nicaise, dépassent de beaucoup la « la limite où les eaux, d'après M. Gueymard, commencent à posséder la « propriété incrustante. Le savant ingénieur des mines du département « de l'Isère assure, d'après sa propre expérience, que les eaux produisent « des incrustations calcaires dans les tuyaux lorsqu'elles renferment $0^{g},25$ « de sels anhydres et plus par litre, et des tubercules ferrugineux dans le « cas où elles contiennent moins de $0^{g},25$ de sels. Cela ne s'est point vérifié « pour les sources de Rouen. »

Il faudrait donc conclure de là que, si la présence d'une dose de bicarbonate de $0^{g},25$ est nécessaire pour l'incrustation, elle ne suffit pas cependant; que les autres sels en dissolution, ou d'autres causes inconnues jusqu'à présent, peuvent empêcher le précipité de se produire, même pour des quantités beaucoup plus fortes. Il y a là un sujet de recherches fort intéressant à étudier; nous ne croyons pas qu'il ait été exploré jusqu'à présent.

Quoi qu'il en soit, il nous semble résulter de cette étude, que si le bicarbonate de chaux n'est pas, comme le sulfate, nuisible à la santé, il a d'autres inconvénients assez graves pour faire rejeter d'une distribution toute eau qui en contiendrait une forte dose.

17. Les concrétions calcaires nous amènent naturellement à parler des tubercules ferrugineux, signalés pour la première fois dans les conduites de Grenoble, et qu'on a retrouvés depuis dans d'autres conduites. Ces tubercules peuvent prendre des dimensions telles qu'ils engorgent presque complétement les conduites. M. Payen a prouvé par des expériences directes qu'ils sont le résultat de l'oxydation de la fonte des tuyaux, sous l'influence de courants électriques qui se développent à l'aide de substances étrangères, formant les éléments d'une pile. Il n'y a jamais à la fois dans les conduites concrétions calcaires et tubercules, et cela se comprend facilement, car dès que la fonte est revêtue d'une couche calcaire, elle est à l'abri de l'oxydation, puisqu'elle n'est plus en contact avec l'eau. M. Gueymard, qui a, le premier, signalé l'existence des tubercules ferrugineux, a posé les principes suivants :

1° Les eaux vaseuses et limoneuses ne donnent pas de tubercules.

Digitized by Google

2° Les eaux qui contiennent 0g,25 de sels anhydres par litre et plus donnent une incrustation calcaire.

3° Les eaux qui en contiennent moins de 0g,25 produisent des tubercules.

4° Les eaux de Grenoble n'en contiennent que 0g,10, quelquefois seulement 0,09. Ces sels ne sont presque que du carbonate de chaux.

Nous croyons ces principes trop absolus : nous l'avons déjà fait voir en ce qui concerne les concrétions calcaires; et quant aux tubercules ferrugineux, on les aurait observés beaucoup plus souvent s'ils devaient se présenter toutes les fois que les eaux contiennent moins de 0g,25 de sels calcaires.

MM. Vicat et Gueymard ont proposé, pour mettre les tuyaux à l'abri des tubercules, de les couvrir d'un enduit à base de chaux hydraulique, ainsi composé : chaux hydraulique en poudre tamisée, obtenue par immersion et délayée avec du fromage blanc et addition d'eau jusqu'à consistance liquide et collante. Ce procédé paraît avoir réussi pour des tuyaux ainsi enduits et placés dans des citernes. Réussirait-il de même pour des tuyaux soumis à un fort courant d'eau? La propriété qu'ont les eaux qui traversent des formations calcaires d'en dissoudre une certaine quantité, ne ferait-elle pas disparaître l'enduit? C'est ce que nous ignorons.

On a proposé aussi de faire pénétrer dans les pores de la fonte de l'huile de lin lithargirée, à l'aide d'une forte pression et de la chaleur. Ce moyen nous paraît d'une application difficile et dispendieuse. Nous croyons que ce qui réussirait le mieux, ce serait un enduit de bitume comme celui qui recouvre l'intérieur des tuyaux de tôle de M. Chameroy. Cet enduit résiste bien avec les eaux incrustantes de Paris. Peut-être y aurait-il des précautions à prendre pour que l'échauffement de la fonte n'altérât pas le vernis au moment où on coule le plomb dans le joint. Nous ne signalons, au reste, ce procédé, qui nous paraît avoir plus de chance de succès que les autres, que comme une indication qui demande à être étudiée.

Disons, en terminant cette question des tubercules, que c'est là une maladie dont les conduites sont rarement attaquées, et qu'on aurait tort de s'en préoccuper pour la plupart des eaux à distribuer. On pourra d'ailleurs, en y faisant séjourner des tuyaux de fonte, reconnaître bien vite si elles ont la propriété de former ces excroissances.

18. Après la pureté chimique de l'eau, la considération la plus importante pour l'hygiène, c'est la température. M. Dupasquier, dans l'ouvrage

Digitized by Google

cité, fait valoir une foule de considérations médicales, 1° sur les avantages de boire chaud en hiver et froid en été, avantages que procurent en général les eaux de source dont la température est constante; 2° sur les inconvénients de boire froid en hiver et chaud en été, inconvénients qui appartiennent aux eaux de rivière. Ces avantages et ces inconvénients devront être pris en considération lorsqu'on aura à choisir entre plusieurs espèces d'eau; mais nous ne croyons pas devoir nous étendre sur cette question, qui est trop simple si on la considère au point de vue de l'agrément, et qui n'est pas de notre compétence, si on la considère au point de vue médical.

19. Avant de passer à l'étude des matières en dissolution dans l'eau, nous croyons devoir reproduire les analyses des eaux de Paris, dont les qualités sont bien connues, telles qu'elles sont données dans l'*Annuaire*. En rapprochant de ces analyses celles des eaux nouvelles qu'on voudrait mettre en distribution, on aura des points de comparaison pour leur qualité.

	EAU DE SEINE à Chaillot.	EAU D'ARCUEIL.	EAU de BELLEVILLE.	EAU des PRÉS-SAINT-GERVAIS.	EAU du puits de GRENELLE.	EAU du canal de L'OURCQ.
	g.	g.	g.	g.	g.	g.
Bicarbonate de chaux...	0,230	0,158	0,400	0,032	0,029	0,158
— de magnésie.	0,076	0,060		0,012	0,009	0,075
— de potasse...	»	»	»	»	0,010	»
Sulfate de chaux.....	0,040	0,138	1,100	0,430	»	0,080
— de magnésie.....	0,030	0,072	0,520	0,100	0,032	0,095
Chlorures de calcium, sodium, etc.....	0,032	0,081	0,400	0,600	0,057	0,113
Acide silicique, oxyde de fer, alumine, etc.	0,024	0,018	0,100	0,020	0,012	0,069
Matières organiques.....	traces.	»	»	»	»	»
	0,432	0,527	2,520	1,194	0,149	0,590

Voici maintenant le jugement porté sur ces eaux par les membres de la Commission des eaux.

« Malgré toutes les causes réunies qui contribuent à altérer l'eau de la « Seine dans son parcours d'amont en aval de Paris, on ne doit pas moins « la regarder comme une des meilleures eaux que l'on connaisse; car, à « l'exception de quelques eaux de sources ou de rivières, qui proviennent « de la fonte des neiges ou qui sourdent dans des terrains de lave, de « basalte ou de granit, il est peu d'eaux qui laissent moins de résidu par « l'évaporation et dont les sels soient de meilleure nature.

Digitized by Google

« Les eaux d'Arcueil sont fraîches, limpides, agréables à boire, laissent « déposer dans leur trajet un sédiment calcaire, qui finit par obstruer les « canaux et les conduites. Les eaux de Belleville et de Ménilmontant sont « des eaux crues et de mauvaise qualité; la quantité de sulfate de chaux « qu'elles contiennent les rend impropres au savonnage et à certains « usages domestiques. »

Qu'il nous soit permis d'ajouter que ces dernières eaux n'incrustent que fort peu les conduites, que c'est un phénomène qui, comme nous l'avons dit plus haut, est encore à expliquer. Les eaux des Prés-Saint-Gervais ne sont pas appréciées par l'*Annuaire*, mais on voit par leur composition chimique qu'elles se rapprochent beaucoup des eaux de Belleville.

Quant à celles du puits de Grenelle, elles sont préférables à toutes celles du bassin de la Seine pour toute espèce d'usages.

« L'eau de la rivière d'Ourcq doit être considérée comme une très- « bonne eau potable, et presque comparable à l'eau de la Seine.—On peut « affirmer que cette eau est une des meilleures de celles qui arrosent le « bassin de Paris. »

20. Les eaux naturelles contiennent, comme nous l'avons dit, des matières en suspension en plus ou moins grande quantité. Ce sont surtout les grands cours d'eau, sujets à des crues accidentelles, qui présentent cet inconvénient au plus haut degré; les eaux qui coulent sur la surface du sol et descendent dans les rivières entraînent avec elles les parties les plus ténues de ce sol, et ces parties se maintiennent en suspension par un phénomène mécanique que nous avons cherché à expliquer dans nos *Etudes sur les mouvements des eaux courantes*. C'est, en effet, un assez curieux phénomène que de voir les eaux tenir en suspension permanente des matières d'une densité plus considérable que la leur; cela tient, suivant nous, aux différences de vitesse qui existent entre les filets, différences qui produisent une sous-pression égale à la différence de poids entre la matière suspendue et un même volume d'eau. Cette cause n'existe plus lorsque l'eau est au repos, ou plutôt lorsque tous ses filets ont la même vitesse; aussi ces diverses matières se déposent-elles alors. Mais on doit comprendre que la manière dont elles se précipitent est très-différente suivant leur poids ou leur volume. Lorsque des eaux sont très-chargées de vase, vingt-quatre heures suffisent pour les débarrasser de la plus grande partie de ce limon, des trois quarts ou des quatre cinquièmes;

Digitized by Google

mais on n'obtient pas ainsi une eau parfaitement limpide. Les matières dont la densité diffère peu de celle de l'eau restent pendant longtemps encore en suspension, de sorte qu'il faut avoir recours au filtrage pour les séparer.

21. L'opération du filtrage consiste à faire passer l'eau trouble à travers une espèce de crible dont les pores soient assez serrés pour ne pas laisser passer les matières solides, et assez ouverts pour laisser passer les molécules liquides. Divers systèmes ont été successivement employés, et lorsqu'il ne s'agit que de petites quantités d'eau, le problème est facile à résoudre. On trouvera plus loin, dans l'extrait des travaux de M. Genieys, la description des divers appareils employés pour filtrer les eaux en petite quantité. Nous nous bornerons ici à exposer quelques considérations sur le filtrage en grand, et sur les procédés employés pour cette opération.

Si de l'eau en repos, c'est-à-dire n'ayant qu'une vitesse perpendiculaire au filtre, le traverse de haut en bas, la vase, en s'y déposant, en augmente l'épaisseur, une partie pénètre dans l'intérieur, en bouche les pores, le produit du filtre va sans cesse en diminuant, et au bout de quelque temps on est obligé de le nettoyer, opération plus ou moins difficile, suivant sa composition. Si le filtrage se fait de bas en haut, il n'y a pas de dépôt sur le filtre, ou du moins ce dépôt est beaucoup moins considérable; mais les pores du filtre s'engorgent toujours au bout d'un certain temps, et on est obligé d'avoir recours au nettoyage, opération presque toujours plus difficile que lorsqu'on a filtré de haut en bas, parce qu'elle exige que l'appareil soit démonté. Il est impossible d'échapper à cette nécessité du nettoyage du filtre toutes les fois que l'eau se meut perpendiculairement à la surface. Il faut évidemment que la vase extraite de l'eau filtrée soit sur le filtre ou dans le filtre.

Il n'en est plus de même lorsque l'eau a une vitesse parallèle à la surface du filtre, la vase peut être alors entraînée dans l'eau courante. Pour se faire une idée de ce qui se passe dans l'opération du filtrage, il faut pour ainsi dire examiner le phénomène à travers un microscope qui nous permettrait d'apercevoir les parcelles vaseuses et les pores du filtre. Les orifices de ces pores sont à peu près des dimensions des plus petites molécules de la vase, puisque ces dernières y pénètrent jusqu'à une certaine profondeur. Lorsque l'eau qui porte les molécules vaseuses a une vitesse perpendiculaire à la surface du filtre, ces matières s'engagent dans les orifices

Digitized by Google

des pores, et la pression de l'eau tend à les y faire pénétrer de plus en plus: les tuyaux capillaires qui forment les filtres n'ont pas en général des diamètres invariables; composés de filaments de laine ou d'éponge qui peuvent s'étendre, ou de grains de sable qui peuvent se déplacer, ils se prêtent facilement à l'introduction des corps étrangers, sur la forme desquels ils peuvent se mouler. On conçoit donc parfaitement que, dans ces circonstances, le filtre finisse par s'engorger. Mais si l'eau est animée d'une vitesse parallèle à la surface du filtre, la molécule vaseuse, animée de cette même vitesse, ne pourra pas s'engager dans les pores du filtre, parce que, pour le faire, elle serait obligée de s'arrêter un certain temps devant l'orifice, et que son repos au milieu de la masse liquide en mouvement la soumettrait à une pression transversale qui la transporterait en avant. Nous disons que la molécule vaseuse devrait s'arrêter un certain temps au droit des pores du filtre pour y pénétrer, parce que la vitesse à travers le filtre est toujours très-petite. On verra tout à l'heure que les filtres anglais ne débitent que $5^{m.c.}$ par jour et par mètre carré. C'est une vitesse de $\frac{5}{86400}$ par seconde ou de $0^{m},000,057,5$; doublons cette vitesse pour tenir compte des parties pleines du filtre, et nous n'aurons encore que $0^{m},000,115$. Imaginons maintenant une molécule vaseuse ayant 1/10 de millimètre de hauteur et se présentant devant un orifice du filtre, elle ne pourra y pénétrer complétement qu'au bout d'une seconde environ, ce qui ne sera pas possible si la vitesse parallèle au filtre est de plusieurs décimètres par seconde. C'est ainsi que nous nous expliquons l'action des filtres naturels, dont nous allons parler maintenant.

22. En creusant des galeries perméables le long de certains cours d'eau, on a obtenu une eau parfaitement limpide, par la filtration des couches qui se trouvaient entre ces galeries et les cours d'eau. Or, il est arrivé que quelques-unes se sont complétement taries, tandis que le produit des autres n'a pas diminué; de là quelques incertitudes sur l'emploi des filtres naturels, et des explications diverses du phénomène de la filtration. Si celle que nous venons de donner est exacte, il en résulterait que le filtre naturel ne peut réussir que quand il y a vitesse sur la surface filtrante. Or, cela n'a pas toujours lieu dans la nature. Ainsi imaginons une rivière encaissée dans une couche de graviers trop gros pour filtrer les eaux, et que la couche filtrante se trouve au-dessous de ce gravier, il est clair que l'eau en contact avec cette couche filtrante pourra

Digitized by Google

ne plus avoir une vitesse suffisante pour entraîner la vase en suspension, et que cette vase pénétrera dans les pores qu'elle finira par obstruer. En un mot, pour qu'un filtre naturel puisse réussir, il faut que la vase de l'eau filtrée puisse être emportée par celle qui ne l'est pas.

Lors donc que la nature de l'eau comporte un filtrage, il est facile, en creusant un puits dans les alluvions du cours d'eau, de s'assurer qu'elles ont la propriété de ne pas laisser passer la vase, mais il n'est pas aussi facile de reconnaître ce que devient cette vase. De ce que le puits aurait fourni de l'eau limpide pendant quelque temps, on ne serait pas assuré du succès. En effet, on ne pourra tirer de ce puits, à titre d'essai, qu'une quantité d'eau bien faible, et la couche filtrante ayant un très-grand développement, l'obstruction ne peut arriver qu'après un temps beaucoup plus long que celui qu'on peut consacrer à l'expérience. Il faut donc demander à l'étude des lieux et au raisonnement les chances de succès que l'expérience ne peut donner d'une manière positive. C'est ce qui nous a engagé à développer ces considérations théoriques.

Quant aux travaux pratiques pour établir des filtres naturels, l'extrait que nous donnons plus loin du mémoire de M. Daubuisson, sur la distribution d'eau de Toulouse, nous dispense d'entrer dans beaucoup de détails à ce sujet. Il s'agit de placer dans une partie perméable du terrain, et qui ne reçoit les eaux qu'après qu'elles ont traversé une couche filtrante, une ou plusieurs galeries perméables, c'est-à-dire en pierres sèches, pour recevoir les eaux filtrées et les conduire aux machines élévatoires. Tel est le système qui a réussi à Toulouse, à Perth en Ecosse, à Vienne en Autriche, et a échoué, après de ruineux essais, à Glascow. Les grandes galeries exécutées dans ces localités nous semblent pouvoir être remplacées économiquement par des tuyaux, tels que ceux qui servent au drainage, par des petits aqueducs en pierre sèche, et par tous les systèmes employés aujourd'hui pour recueillir et conduire les eaux des terrains humides, travaux dont nous parlerons plus loin.

Lorsque les localités ne se prêtent pas à la filtration naturelle, deux partis se présentent : ou mettre les eaux brutes en distribution, ou avoir recours à la filtration artificielle.

23. Disons d'abord que les procédés de filtrage en petit, qui donnent de si beaux résultats sous le rapport de la qualité, ne sont pas appliqués à de grandes masses d'eau, à cause des dépenses qu'ils exigent. A Paris,

Digitized by Google

le filtrage des deux Compagnies qui exploitent les fontaines marchandes est payé à raison de $0^{f},06$ par mètre cube (après l'avoir été $0^{f},15$). Ce prix ne tient pas compte des frais de réservoirs, d'emplacements fournis par l'administration et de la perte de charge due au filtre, c'est-à-dire de la hauteur dont il faut élever l'eau pour la filtrer. Mais, d'un autre côté, si l'on appliquait ces systèmes à de plus grandes quantités d'eau, si l'on réunissait tous les appareils disséminés aujourd'hui dans un grand nombre de bâtiments, on aurait une certaine diminution dans les prix. Admettons donc 0,05 pour le prix d'application de ces systèmes à de grandes quantités d'eau, et nous allons voir qu'on est conduit à des dépenses énormes. A Toulouse, la distribution est de 200° (4,000 par jour), la dépense serait donc de 200 fr. par jour, 73,000 fr. par an, tandis que pour la distribution complète, en comprenant l'intérêt des capitaux dépensés et les frais annuels, elle n'est guère que de 60,000 fr. A Paris, pour une distribution de 6,000°, la dépense annuelle serait de plus de deux millions; on comprend donc qu'il a fallu avoir recours à d'autres systèmes pour la filtration en grand.

Tous les procédés de filtration artificielle en grand consistent à faire passer l'eau à travers une couche de sable plus ou moins épaisse et à la recueillir ensuite. C'est une imitation de la filtration naturelle. Pour que le sable fin qui opère la filtration ne soit pas entraîné dans cette opération, il suffit de le placer sur un crible dont les trous soient plus petits que les grains de sable. Pour résoudre ce problème, on peut avoir recours à plusieurs systèmes. Voici ceux qu'on emploie dans les filtres de Londres.

Sur le fond des bassins de filtration, on établit des voûtes à claire-voie, voûtes qu'on pourrait remplacer par des drains, par des pierrées, ou tout autre système donnant un passage facile à l'eau. Dans un établissement de Londres, on a élevé, sur le fond du bassin, de petits murs verticaux qu'on a recouverts avec des dalles de schiste placées de champ et non jointives. Sur ces cribles, on met un lit de coquilles de mer ou de cailloux ne pouvant passer par leurs orifices; sur ce lit, on en met un autre de gros graviers, puis un autre de graviers moins gros, enfin une couche de sable fin de $0^{m},60$ à $0^{m},90$ d'épaisseur, qui forme réellement le filtre, car il est démontré par l'expérience que le limon vaseux ne descend que de 1 à 2 centimètres dans cette couche de sable.

L'opération du nettoyage consiste à enlever au râteau la couche salie,

Digitized by Google

de sorte que l'épaisseur du sable fin diminue à chaque nettoyage; on ne remet du sable que quand elle est réduite à 20 ou 25 centimètres.

Les frais de l'opération du nettoyage sont faciles à évaluer, puisqu'il ne s'agit que d'un léger déblai à exécuter sur une surface donnée ; il paraît qu'à Londres une journée d'ouvrier suffit pour 200 mètres carrés. Mais il n'est pas aussi facile de se rendre compte de la dépense totale ou du prix de revient du filtrage d'un mètre cube d'eau.

Ce prix se compose, en effet, des dépenses premières de l'établissement des bassins de filtrage et du coût des opérations nécessaires pour nettoyer les filtres. Or, l'évaluation de ces dépenses présente plus de difficultés qu'on ne pourrait le supposer d'abord. Ne pouvant les résoudre, nous nous bornerons à les signaler.

Une des données les plus essentielles de la question serait de connaître la puissance filtrante de la couche de sable correspondant à une pression déterminée. Il paraît qu'à Londres on obtient, dans les divers établissements, de 3 à $5^{m.c.}$ d'eau filtrée pour une pression de $1^{m},30$, et que, suivant l'état de la Tamise, le nettoyage doit se faire tous les cinq jours ou tous les mois. La surface du filtre doit évidemment se calculer sur les circonstances les plus défavorables, c'est-à-dire sur l'hypothèse d'un nettoyage tous les cinq jours, ce qui exige qu'on puisse mettre 1/5 du filtre en chômage, ou supposer que le filtre ne débite que $4^{m.c.}$ par mètre carré, puis ajouter les frais de nettoyage et de remplacement du sable.

Dans ce calcul, il n'y a de constant que les frais de nettoyage du sable par mètre carré, mais il est bien évident que le nombre de ces nettoyages dépend de la quantité de vase contenue dans l'eau et de la charge sur le filtre. Il cesse, en effet, de fonctionner convenablement, non pas au bout d'un temps déterminé, mais après avoir filtré un certain nombre de mètres cubes ; plus l'eau contiendra de matières impures, plus on en filtrera par mètre carré, plus les nettoyages seront fréquents. Si à Londres, où la Tamise est assez claire, on est obligé d'avoir recours à un nettoyage après 25 mètres d'eau filtrée, on ne peut rien en conclure pour l'eau d'une autre rivière, car la nécessité de cette opération ne dépend pas seulement de la quantité de matière tenue en suspension, mais de sa nature. L'eau de la Seine, par exemple, incomparablement plus claire l'été que l'hiver, est cependant presque aussi difficile à filtrer dans une saison que dans l'autre, parce que, l'été, elle tient en suspension une matière mucilagineuse, qui en-

Digitized by Google

gorge très-promptement les pores des filtres. On ne peut donc pas tirer de conclusions bien certaines des documents suivants que nous empruntons à un mémoire récent publié par MM. Houyau et Blavier, sur les dépenses de filtrage à Londres (pages 12 et 13).

24. « Les deux grandes Compagnies de East-London et New-River se « disposent en ce moment à établir des appareils de filtration suivant le « système de M. Simpson, et voici comment l'une et l'autre estiment les « dépenses premières qu'elles auront à faire et les frais annuels d'entre- « tien de ces appareils.

East-London company. M. Wicksteed, ingénieur.

« Prix d'établissement de filtres devant s'étendre sur une surface de « 2 hectares 40 centiares, et disposés pour filtrer 40,000 mètres cubes en « vingt-quatre heures, 787,500 fr.; en y comprenant l'installation des « machines nécessaires pour élever l'eau sur les filtres.

« Frais annuels d'entretien, 15,000 fr. pour la main-d'œuvre, le « sable et toutes les matières premières nécessaires, d'une part, et, d'autre « part, 15,000 fr. pour l'entretien des machines.

« Ces chiffres doivent être considérés comme une très-large approxi- « mation.

New-River company. M. Mylne, ingénieur.

« Prix du premier établissement de filtres, disposés pour filtrer en vingt- « quatre heures 120,000 mètres cubes environ.

9 filtres . . . . . 1,673,000 fr.

« Frais d'entretien annuel, 18,125 fr. seulement.

« Quant aux filtres aujourd'hui fonctionnant, M. Simpson déclare que « l'établissement du filtre de Lambeth, d'une surface de 1,000 mètres « carrés environ, et pouvant fournir en vingt-quatre heures 15,000 mètres « cubes d'eau filtrée, a coûté, tout compris, 150,000 fr.

« Il nous a dit que, par jour, l'entretien des filtres de Chelsea montait à 75 fr. pour une filtration de 22,500 m.c..

« D'autre part, M. Quick, ingénieur de la Compagnie Southwark-and- « Vauxhall, annonce que les frais d'entretien annuel des filtres de l'éta-

Digitized by Google

« blissement de ce nom montent à 26,800 fr. pour une filtration de « 9,828,000 m. c..

« En résumé, nous déduisons des chiffres qui précèdent :

« 1° Pour le prix d'établissement d'un système de filtration artificielle « au moyen du sable, destiné à fournir 1,000 m.c. en vingt-quatre heures :

D'après M. Simpson, à Lambeth.	10,000f.	»c.
D'après le projet de M. Wicksteed, pour l'établissement de East-London.	19,687	»
Enfin, d'après le projet de M. Mylne, pour l'établissement de New-River.	14,000	»

« Soit, en moyenne, à peu près 14,000 fr.

« 2° Pour frais d'entretien d'un filtre, par 1,000m.c. d'eau filtrée :

Compagnie de New-River..	»f.	50c.	
— de East-London.	1	50	pour la main-d'œuvre et pour les machines.
	1	50	
— de Southwark-and-Vauxhall. .	2	75	
— de Chelsea.	3	75	

« Soit, en moyenne, 2 fr. 50 c.

« Nous ferons observer que les filtres de Chelsea et de Southwark-and- « Vauxhall ont été les premiers établis, et doivent être considérés comme « les plus imparfaits aujourd'hui. »

25. L'influence de la charge sur le produit des filtres n'a pas encore été étudiée, que nous sachions. Si, en attendant des expériences positives, il fallait s'en fier à des données théoriques, nous dirions que le débit d'un filtre doit être proportionnel à la charge; car chaque petit conduit du filtre peut être assimilé à un tuyau dans lequel l'eau se meut avec une très-petite vitesse. Or, comme on le verra plus tard, la résistance des parois est, dans ce cas, proportionnelle à la première puissance de la vitesse. En élevant l'eau sur les filtres, on pourrait donc diminuer leur surface; mais cette économie de frais de construction devrait être mise en balance avec les dépenses des machines élévatoires : de plus, la vase pénétrerait peut-être plus avant dans les pores du filtre, et nécessiterait un plus grand enlèvement du sable. Il est une autre observation qu'on est naturellement conduit à faire, lorsqu'on étudie ces procédés de filtration artificielle. Puisque 25 ou 30 centimètres de sable fin suffisent pour donner une eau limpide, pourquoi en mettre 90, et par là réduire la puissance du filtre peut-

Digitized by Google

être d'un tiers? Il est vrai qu'on évite par là le remplacement successif du sable; mais cet avantage nous paraît bien faible en comparaison de celui d'augmenter la puissance du filtre. Nous ne faisons cette objection au procédé anglais que parce que nous le voyons se contenter, dans certains moments, d'une épaisseur de $0^m,25$ à $0^m,30$; car, de ce que la vase s'arrête dans les 2 ou 3 centimètres de la surface, il ne faudrait pas conclure que la partie inférieure est inutile. Cette partie inférieure a pour résultat de ralentir la vitesse dans les pores du filtre et d'empêcher la vase de le traverser. S'il n'y avait que les 2 ou 3 centimètres qu'elle salit dans le système actuel, il est probable que la vitesse de l'eau dans le passage du filtre deviendrait assez considérable pour entraîner la vase elle-même, et que le filtre ne donnerait plus qu'une eau très-impure. Il faudrait alors réduire la charge pour diminuer la vitesse. En un mot, nous croyons que, pour une nature de filtre déterminée, la vitesse de l'eau ne peut dépasser une certaine limite. Quant aux couches inférieures de gros sable, gravier, cailloux, coquilles, leur but n'est que d'arrêter l'entraînement des couches supérieures. Nous ne pensons pas, comme quelques ingénieurs, qu'elles puissent avoir une influence quelconque sur la qualité de l'eau, par une atmosphère d'oxygène qui envelopperait les graviers et arrêterait la putréfaction de l'eau. Ces couches inférieures, n'étant jamais renouvelées, doivent devenir inertes, comme le charbon lui-même qui ne peut servir que pour une certaine quantité d'eau. Elles ne sauraient du reste avoir d'influence pour retarder la vitesse de l'eau à travers le filtre, car on peut les assimiler à des tuyaux de gros diamètre qui feraient suite à des tuyaux de faible diamètre; et nous démontrerons plus loin que, dans ce cas, c'est le diamètre des petits tuyaux qui détermine la vitesse de l'eau. On ne doit donc pas redouter de donner à ces couches l'épaisseur convenable; il n'y a que celle de la couche de sable fin qui puisse avoir une influence sensible sur la puissance du filtre.

26. En résumé, les procédés de filtration artificielle, tels qu'ils sont appliqués en Angleterre, ne peuvent être considérés que comme des solutions locales, dont il est difficile de déduire des principes généraux qui permettent de les étendre à d'autres localités avec certitude de succès ou garantie d'une limite quelconque de dépenses. C'est pour ce motif sans doute que, jusqu'à présent, on n'en a guère fait d'application en France. On se contente, en général, de faire déposer les eaux dans des réservoirs plus ou moins

Digitized by Google

considérables, où elles se débarrassent des matières les plus grossières. A Paris, le filtrage est complété, soit dans des établissements spéciaux qu'on appelle fontaines marchandes, soit chez les particuliers au moyen de petites fontaines filtrantes. Les inconvénients de ce procédé sont d'exiger chez les particuliers la présence d'un petit appareil sujet à des nettoyages, et, sur la voie publique, des transports d'eau au moyen de tonneaux. Les avantages sont de ne faire que le filtrage rigoureusement nécessaire, car il faut remarquer que pour beaucoup d'usages grossiers, l'arrosement des cours, des jardins, de la voie publique, le jeu des fontaines monumentales, etc., le filtrage est pour ainsi dire inutile. Or, quand on filtre en grand, il faut tout filtrer, à moins d'avoir doubles tuyaux dans toutes les rues, ce qui jetterait dans des dépenses plus considérables que celles qu'on veut éviter. Il suit de là que le filtrage en petit, appliqué à la seule quantité d'eau pour laquelle il est utile, ne coûte pas beaucoup plus cher que le filtrage en grand.

Par rapport à l'engorgement des conduites, le filtrage ne présente que de médiocres avantages. Le même motif qui tient les matières en suspension dans les cours d'eau les tient aussi en suspension dans les conduites. Si cela n'était pas, les tuyaux seraient bien vite encombrés. Or, ce résultat ne se produit pas à Paris, où l'eau de Seine est immédiatement lancée dans certains tuyaux, quoiqu'elle contienne, ainsi que nous l'avons constaté dernièrement, jusqu'à 1 litre de vase pour 4 mètres cubes. On trouve bien ici et là quelques dépôts, mais ils n'ont lieu que sur des points spéciaux, où la vitesse est ralentie par une cause quelconque, de sorte qu'ils ne sont pas nuisibles à l'écoulement. Ces matières, ténues et insolubles, ne sont jamais adhérentes aux parois, de sorte que la moindre vitesse suffit pour les entraîner.

Des considérations que nous venons d'exposer, il nous semble résulter que les matières en suspension dans l'eau doivent être regardées comme beaucoup moins dangereuses que les matières en dissolution. La qualité des eaux n'en est pas altérée, on peut facilement les débarrasser de la plus grande partie de ces matières par le repos, et enlever au besoin le reste, soit par de petits appareils de filtrage, soit par des bassins de filtration. Le défaut de limpidité de l'eau n'est donc pas un inconvénient de la même nature que celui qui résulte d'une mauvaise composition chimique. C'est un inconvénient sans doute, mais il n'est pas très-grave, et on peut toujours y remédier.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

DU MODE DE DISTRIBUTION DES EAUX AUX PARTICULIERS. — DU PRIX DE VENTE.

27. Il y a deux modes de distribution des eaux. Le système discontinu ou intermittent, et le système continu. Nous ne dirons que quelques mots du premier, très-usité en Angleterre, mais qui y est aujourd'hui condamné par tous les hommes compétents.

Dans le système intermittent, les particuliers ne reçoivent l'eau que pendant un certain temps, une heure par jour, par exemple. Le tuyau d'alimentation, ouvert à l'extérieur par un fontainier, emplit le réservoir de l'abonné, et, dans le reste de la journée, celui-ci ne peut consommer que la capacité de son réservoir. Comme il est impossible de la calculer, de manière à ce qu'il reçoive tout ce qu'amène le tuyau public, puisque dans chaque maison le réservoir est à un niveau différent, et que la consommation journalière est très-variable; beaucoup d'eau passe par le trop-plein et se trouve perdue. Qu'un particulier ait ou n'ait pas dépensé la capacité de son réservoir, que ce dernier soit plein ou vide, le robinet y verse tous les jours la même quantité d'eau. On pourrait remédier à cet inconvénient avec des robinets à flotteur, qui fermeraient la conduite d'arrivée quand l'eau s'élèverait jusqu'au trop-plein, comme cela a lieu à Paris dans les grands établissements jaugés. Mais ces robinets constitueraient une dépense d'achat et d'entretien à laquelle il serait difficile d'assujettir l'abonné, qui a plus d'intérêt d'ailleurs à voir renouveler son eau que d'économiser le charbon de la Compagnie, de sorte qu'ils ne sont pas en usage. La perte d'eau qui résulte de ce mode de distribution est énorme; on l'évalue, à Londres, à plus de moitié de la quantité totale.

Un autre inconvénient de ce système est d'exiger l'établissement d'un réservoir dans une partie élevée de la maison de chaque abonné. C'est un embarras et une dépense. Pour éviter les fuites, ces réservoirs sont doublés en plomb. Or, il est démontré que de l'eau conservée dans des

Digitized by Google

vases de plomb ouverts devient un poison très-actif par la dissolution du métal. C'est à un empoisonnement de ce genre que la famille du roi Louis-Philippe a failli succomber en Angleterre.

L'ouverture et la fermeture des robinets qui donnent l'eau aux maisons exigent un nombreux personnel de fontainiers. Pour diminuer cette dépense, on ne place le robinet qu'aux branchements de rues, de sorte que toutes les maisons d'une rue ou d'une portion de rue reçoivent l'eau à la fois. Quand un incendie se déclare, l'abonné et ceux qui viennent à son secours ne peuvent disposer que de la quantité d'eau insignifiante qui se trouve dans leur réservoir ; il faut courir après le fontainier pour avoir la clef du branchement, et mettre le tuyau en charge ; quand cela est fait, la maison souvent est brûlée. M. W. Baddeley, ingénieur, inspecteur de la Société d'assurances pour la vie contre l'incendie, affirme que sur les 838 incendies qui ont occasionné des désastres sérieux à Londres en 1849, les deux tiers eussent été éteints dès l'origine, avec des tuyaux de conduite d'eau toujours en charge.

28. Nous n'insisterons pas davantage sur ce système. Ce que nous venons de dire suffit pour en démontrer les inconvénients. Nous posons donc en principe qu'on ne peut penser aujourd'hui à établir un pareil mode de distribution. Dans le système continu, toutes les conduites aboutissent directement ou indirectement à un réservoir public, et à quelque heure qu'on ouvre un robinet, l'eau s'en échappe avec une vitesse due à la charge de ce réservoir. L'abonné est donc dispensé d'avoir chez lui un réservoir particulier, à moins que, dans un moment donné, il ne veuille dépenser plus que le produit de son robinet; ce qui n'a lieu que pour des établissements industriels d'une certaine importance et pour lesquels la construction d'un réservoir n'est pas une charge comme pour les particuliers.

29. Le système continu une fois admis en principe, l'eau livrée aux particuliers doit-elle être jaugée? Nous n'hésitons pas à répondre non, pour tous ceux qui ne sont pas astreints par les nécessités de leur industrie à avoir un réservoir. En effet, le jaugeage entraîne presque tous les inconvénients du système discontinu. Comme il n'existe pas de compteur pour les eaux [1],

[1] Un ingénieur anglais, M. Siemmens, nous a apporté un compteur de son invention. C'est une vis enfermée dans le tuyau d'arrivée et à laquelle l'eau fait faire un nombre de tours propor-

Digitized by Google

le jaugeage se fait aujourd'hui [1] au moyen d'un diaphragme qu'on place dans le branchement du concessionnaire, et qui limite le débit par vingt-quatre heures au chiffre de la concession. Ce branchement aboutit alors à un réservoir qui reçoit la quantité d'eau déterminée, de manière que le concessionnaire ne peut jamais dépenser plus que ne le porte son traité. Il est d'ailleurs facile de se rendre compte qu'un réservoir est indispensable dans ce système. En effet, soit une concession de 15 hectolitres par jour : c'est celle de la plupart des maisons de Paris. Si l'abonné n'avait pas de réservoir, il ne pourrait tirer de son robinet qu'un litre environ par minute; il lui faudrait un quart d'heure pour recevoir un seau d'eau. Dans les villes où les maisons reçoivent plusieurs ménages, le jaugeage établit entre eux une solidarité gênante, à moins d'avoir autant de robinets de jauge et de réservoir que de locataires, ce qui occasionnerait des dépenses considérables. Le jaugeage a donc à peu près les mêmes inconvénients que le système discontinu; ajoutons qu'une paille, une ordure introduites dans le diaphragme peuvent en diminuer considérablement le

tionnel à sa vitesse. Ce compteur, que nous avons expérimenté, a donné des résultats très-satisfaisants dans les expériences auxquelles nous l'avons soumis. Reste à savoir quels sont les frais d'entretien, les effets de l'incrustation, etc., etc.

[1] Le jaugeage se faisait autrefois au moyen de tuyaux particuliers se rendant à une cuvette dite de distribution, où l'eau était amenée par la conduite publique. (Voir la planche de Genieys, qui représente la fontaine Gaillon, et l'explication de cette planche.) Ce système exigeait que l'abonné eût non-seulement son réservoir pour recevoir l'eau qui lui était délivrée d'une manière continue, mais encore son tuyau spécial. Il n'y avait évidemment que des gens très-riches, ou très-voisins de la cuvette, qui pussent faire la dépense de pareils branchements. La voie publique ne suffirait pas aujourd'hui pour contenir tous ceux qu'exigerait l'alimentation des nombreux abonnés de la ville de Paris. Ce système de jaugeage n'était au reste que celui qui était usité dans l'antiquité. Un sénatus-consulte, cité par Frontin, défendait aux particuliers de tirer l'eau d'ailleurs que du château d'eau, pour que le jaugeage pût être fait, et pour que les canaux et tuyaux publics ne fussent pas exposés à de nombreux déchirements (*ne aut rivi, aut fistulæ publicæ frequenter lacerentur*). Mais ce règlement subissait de nombreuses infractions. Les fontainiers de Rome piquaient les conduites et donnaient ainsi aux habitants de l'eau clandestinement. Frontin dit plus loin : « Il faut aussi enlever aux fontainiers l'espèce de revenus qu'ils appellent points. Il y « a sous le pavé de nos rues un très-grand développement de tuyaux. Je l'ai trouvé percé par le « *pointeur*, dans son parcours, d'une infinité de trous destinés à donner l'eau directement à des « tuyaux particuliers à tous ceux qui s'étaient entendus frauduleusement avec les fontainiers, « d'où il résultait qu'il ne restait presque plus d'eau pour les usages publics, etc. » Il fallait punir le pointeur et lui prendre son système ; les fraudeurs donnent souvent d'utiles leçons aux législateurs. Frontin fait connaître que le revenu des eaux de Rome était de 250,000 sesterces (42,500 fr.); il ne dit pas ce que gagnaient ceux qui *a punctis appellabantur*.

Digitized by Google

produit, et que par conséquent l'abonné n'est jamais sûr de recevoir la quantité à laquelle il a droit.

Le jaugeage, évidemment nuisible à l'abonné, est-il avantageux à l'administration ou à l'entreprise qui fournit l'eau ? Nous ne le pensons pas, et voici sur quoi se fonde notre opinion, que nous croyons devoir développer avec quelques détails.

On est habitué à voir, dans le commerce, le prix de la marchandise proportionnel à la quantité. Ainsi, deux hectolitres, trois hectolitres de vin coûtent deux ou trois fois plus qu'un hectolitre de vin. On a donc cru devoir appliquer ce principe à la vente de l'eau et établir un prix proportionnel à la quantité. On n'a pas fait attention 1° à la différence qui existe entre les frais de production de certains objets et ceux d'autres objets : pour les uns, ces frais de production sont proportionnels à la quantité produite ; pour les autres, ils en sont presque indépendants ; 2° à ce que, la vente de l'eau étant ordinairement un monopole, le prix n'est plus soumis à la loi de la concurrence, et qu'on est le maître de l'élever ou de l'abaisser en vue de tel ou tel résultat.

Ainsi, une ville ou une compagnie fait une distribution d'eau, une source est dérivée, les tuyaux sont placés, on a, comme à Toulouse, dépensé 1 million pour avoir 4,000$^{m.c.}$ d'eau par jour ; c'est donc une dépense annuelle de 50,000 fr. augmentée de 10,000 fr. pour frais d'entretien, soit 60,000 fr., à laquelle il faut faire face. Supposons qu'on ait pris 2,000$^{m.c.}$ pour les usages publics, fontaines, lavage des rues, des égouts, lavoirs, abreuvoirs publics, etc. ; restent 2,000$^{m.c.}$ dont on peut disposer pour concessions particulières. Comment établira-t-on le tarif pour tirer le meilleur parti possible de cette quantité d'eau ?

Supposons qu'on fixe un prix unique, soit 50 fr. par mètre cube ; il résultera évidemment de ce chiffre une certaine quantité d'eau vendue, 1,000$^{m.c.}$, par exemple, qui produiront une recette de 50,000 fr. ; 1,000$^{m.c.}$ ne seront pas vendus et seront perdus pour l'exploitant comme pour le public. Si, pour en tirer parti, on baisse le prix à 40 fr., et que la quantité d'eau vendue soit de 1,200$^{m.c.}$, la recette n'est plus que de 48,000 fr. ; on voit que la Compagnie perdra 2,000 fr. et devra revenir à son ancien tarif, sauf à laisser écouler inutilement une plus grande quantité d'eau. Cependant il est évident que l'état de choses créé par le second tarif est bien plus avantageux que le premier. En effet, les mille abonnés qui payent 40 fr.

Digitized by Google

au lieu de 50, ont évidemment gagné chacun 10 fr., soit 10,000 fr., et les 200 nouveaux abonnés, qui prennent de l'eau à 40 fr. et qui n'en prenaient pas à 50 fr., ont évidemment gagné les uns 9 fr., les autres 8 fr., soit, en moyenne, 5 fr.; on peut donc évaluer le profit du public à 11,000 f., c'est donc une large compensation de la perte de 2,000 fr. de la Compagnie. Poussons plus loin l'hypothèse : on met l'eau à 30 fr., on en vend 1500$^{m.c.}$., qui donnent une recette de 45,000 fr. Il est clair que les abonnés à 50 fr. réalisent un bénéfice de 20 fr. par mètre cube, soit 20,000 fr.; les abonnés à 40 fr., un autre de 10 fr. en sus des 5 qu'ils avaient déjà gagnés, soit $200 \times 15 = 3{,}000$ fr.; enfin, les 300 nouveaux abonnés, un bénéfice moyen de 5 fr., soit 1,500 fr.; le public gagne donc 25,000 fr. environ, tandis que la Compagnie en perd 5,000. On voit que, suivant qu'on se place au point de vue de l'intérêt public ou à celui d'un exploitant, on doit adopter tel ou tel tarif. Nous rendrions les résultats encore plus sensibles en relevant le taux du tarif, en supposant, par exemple, que le chiffre de 60 fr. donne une vente de 900$^{m.c.}$ et, par conséquent, une recette de 54,000 fr.; que celui de 70 fr. donne une vente de 800$^{m.c.}$ et une recette de 56,000 fr.

Cet exemple explique la divergence d'intérêt qui existe entre l'exploitant et l'exploité, lorsqu'il y a monopole. C'est une question générale que nous avons essayé de traiter dans divers articles des *Annales des ponts et chaussées*, à propos de la mesure de l'utilité publique et des péages sur les voies de communication, et qui se présente dans toute exploitation de monopole. Nous y avons démontré que chaque taux du tarif donnait lieu à un certain profit pour l'exploitant; que ce profit, nul pour un taux très-élevé, croissait à mesure que le taux diminuait, jusqu'à un certain point où il atteignait son maximum, et décroissait ensuite indéfiniment; que plus le taux était bas, moins il y avait d'utilité perdue. On se rend parfaitement compte de ces résultats dans le cas d'une distribution d'eau. Ainsi, quand le tarif trop élevé est un obstacle à la vente, l'eau qui n'est pas vendue et qui se trouve perdue a évidemment de l'utilité, puisqu'elle trouverait des acquéreurs à un prix inférieur : cela tient à ce que les mêmes choses ont une utilité différente, non-seulement pour divers consommateurs, mais pour le même consommateur, suivant la quantité. Quand l'eau est chère, les gens riches mêmes l'économisent.

30. Nous trouvons une confirmation de ces principes dans ce qui a été fait

Digitized by Google

à Toulouse. Le prix de vente des eaux a été fixé à 20 fr. l'hectolitre, tandis que le prix de revient n'était, comme on vient de le voir, que de 1 fr. 50 (60,000 fr. pour 40,000 hectolitres); à ce taux, la ville a fait 7,400 fr. d'abonnements, c'est-à-dire qu'elle a vendu 320 hectolitres, moins de la centième partie de l'eau élevée. C'est là, il faut bien le dire, un échec complet sous le rapport fiscal ou commercial. « Dans l'origine, dit M. Dau-« buisson, les propriétaires des grandes maisons avaient presque tous « témoigné le désir d'avoir des eaux chez eux : des dispositions avaient « même été faites pour les satisfaire. Mais lorsqu'ils ont eu presque à leur « porte de l'eau en abondance et dans toute sa fraîcheur, et qu'ils ont pu « pourvoir à tous leurs besoins sans se donner les soins et les embarras « d'une concession particulière, ils y ont renoncé. » Sans doute, la multiplicité des orifices gratuits est une difficulté pour la vente de l'eau, on doit en tenir compte dans l'établissement du tarif. Or, vendre, à Toulouse, 20 fr. ce qui à Paris, ville de richesse et de luxe, ne se vend que difficilement 5 fr., n'était pas un moyen de surmonter la difficulté. Cependant, on voit que le prix de 20 fr. a trouvé un certain nombre d'acheteurs, le prix de 15 fr. en aurait évidemment trouvé davantage; ceux de 10 fr., de 5 fr., etc., encore plus. Or, que faisait la ville de Toulouse de l'eau qui n'était pas vendue? Sa délibération du 26 juillet 1826 répond à cette question : « Toute l'eau qui ne sera pas concédée conformément à l'article « premier (à 20 fr. l'hectolitre) sera portée et versée sur la voie publique, « c'est-à-dire sur les places et dans les rues. » Ainsi, voilà d'une part de l'eau qui n'a coûté que 1 fr. 50 l'hectolitre, et, d'autre part, des gens qui consentiraient à la payer 15 fr., 10 fr., 5 fr..., et on préfère la répandre sur la voie publique que de la leur donner! Comment justifier un pareil refus? Que si l'on disait qu'avec des prix aussi bas on vendrait trop d'eau et qu'il n'en resterait pas assez pour les usages publics, nous répondrions qu'il ne faut jamais redouter de vendre 5, 10, 15 fr. ce qui ne coûte que 1 fr. 50, attendu qu'avec de pareils bénéfices il est toujours facile d'augmenter la production; que si l'on disait que des prix inférieurs auraient augmenté la consommation, mais diminué la recette, nous répondrions d'abord que cela n'est pas probable, et qu'ensuite, avec un tarif gradué avec intelligence, cela n'est pas possible. C'est ce que nous allons tâcher de faire voir.

31. Le but qu'on doit se proposer dans l'exploitation d'une distribution

Digitized by Google

d'eau, c'est de donner un emploi utile à toute celle qui est disponible, et d'indemniser l'exploitant des dépenses premières qu'il a faites. Or, nous venons de faire voir les conséquences du tarif unique pour la vente du prix de l'eau réglé sur la quantité. Les résultats ne sont pas les mêmes lorsque l'eau est vendue par abonnement à discrétion, et qu'on admet des classes différentes d'abonnement.

Imaginons que tous les propriétaires d'une ville fassent consciencieusement connaître le prix maximum qu'ils consentiraient à donner pour un abonnement à discrétion. En établissant le tarif pour chacun d'eux sur le chiffre de sa réponse, l'exploitant percevrait la plus grande recette possible et toute l'utilité du produit, recette qui pourrait dépasser de beaucoup la rémunération qui est due aux sacrifices qu'il a faits. Mais si, au lieu de percevoir la somme entière déclarée par le propriétaire, on n'en perçoit qu'une fraction, le quart, ou le tiers, ou la moitié, ce qu'il faut enfin pour que la recette soit en rapport avec les sacrifices antérieurs, il est évident qu'il n'y aura pas d'utilité perdue et qu'elle se partagera tout entière entre les exploitants et les exploités.

L'eau doit donc être vendue par abonnement à discrétion, à un prix proportionnel à l'utilité qu'en retire l'abonné. Plusieurs difficultés se présentent pour appliquer ce principe, et nous dirons de suite que nous n'avons d'autre prétention que de signaler les moyens d'approcher le plus possible de la meilleure solution.

L'abonnement à discrétion pourrait conduire à une consommation d'eau plus grande que la quantité dont on peut disposer. Si cela était, cela prouverait seulement que la distribution est insuffisante, qu'on s'est trompé dans l'évaluation primitive qui a été faite et qu'il y aurait lieu de compléter l'alimentation. Mais c'est là un cas exceptionnel; dans toute distribution nouvelle, ce n'est pas l'eau qui manque, c'est l'abonné, et celui-ci ne vient pas, souvent à cause du tarif. A Paris, par exemple, le moindre abonnement ayant été fixé à 75 fr., il est clair que la ville perd les recettes de ceux qui s'abonneraient à 60, à 50, à 40, etc., etc., etc. Des 5,000° que lui doit la Compagnie du canal de l'Ourcq, elle n'en dépense que la moitié; tous les jours, 5,000 mètres cubes d'eau sont perdus pour elle et pour les particuliers. Il va sans dire d'ailleurs que l'abonnement à discrétion s'entend des usages ordinaires, et non des abus qu'on pourrait imaginer. Ce n'est pas d'ailleurs un mode nouveau et inusité; à Paris, à Londres, il y a des milliers

Digitized by Google

d'abonnés à discrétion, et en ce qui concerne Paris, nous pouvons dire que les abus sont excessivement rares. L'abonnement à discrétion existe, sa possibilité ne saurait être mise en question; il s'agit seulement de le tarifer, de savoir si la base du prix doit être la quantité consommée ou l'utilité trouvée dans la consommation. A Paris, c'est le premier système qui est en vigueur, nous le croyons vicieux; à Londres et autres villes d'Angleterre, le mode d'abonnement se rapproche du second, et nous le croyons meilleur.

La difficulté de connaître le sacrifice que voudrait faire l'abonné pour avoir de l'eau, et de fixer le prix de l'abonnement sur ce sacrifice, est plus sérieuse. Cependant nous ne la croyons pas insurmontable. Il y a, en effet, des caractères apparents qui permettent de faire à cet égard des conjectures suffisamment exactes pour asseoir la spéculation. Il est clair que le sacrifice que se décidera à faire le propriétaire d'une maison pour avoir un abonnement dépendra du nombre, de la richesse de ses habitants, de la nature de leur industrie, de la difficulté qu'ils peuvent avoir à se procurer de l'eau. Or, ce sont là des caractères publics, pour ainsi dire, qu'on peut exploiter, sans avoir recours à des procédés d'inquisition. Ainsi, dans certaines villes d'Angleterre, l'abonnement aux eaux se réglant sur le prix du loyer des maisons, descend naturellement à la portée de ceux qui ne pourraient faire de grands sacrifices pour l'obtenir. C'est un premier pas fait dans une bonne voie; on en peut faire beaucoup d'autres. Ne pourrait-on faire des classes de maisons comme on fait des classes de voyageurs sur les chemins de fer? Supposez que sur ces voies de communication il n'y eût que le tarif de la première classe, quelle perte pour le public et pour les compagnies!

L'étude du tarif de la vente de l'eau est, suivant nous, une étude toute locale; un tarif qui réussirait dans une ville ne réussirait pas dans une autre. Imaginez que l'une d'elles, située sur une hauteur, n'ait que des puits très-profonds, et que l'eau qu'on en tire soit de mauvaise qualité, l'eau pourra s'y vendre évidemment plus cher que dans une autre où l'eau serait meilleure et d'un puisage plus facile. Un des obstacles à la vente de l'eau, c'est la distribution gratuite qu'on en fait au moyen de fontaines publiques, comme à Paris. Plusieurs villes en France n'ont même pas d'autre mode de distribution. Nous n'avons d'autre objection à faire à ce système que l'illusion où se trouvent quelques-uns de ses partisans qui

Digitized by Google

croient qu'il a l'avantage de donner l'eau gratuitement. L'Etat ou les villes ne peuvent donner quelque chose gratuitement, qu'à la condition de faire payer plus cher d'autres services. Ainsi, dans l'exemple que nous avons cité tout à l'heure d'une ville qui a dépensé un million pour une distribution d'eau, il est clair que si elle se borne à faire de ses eaux une distribution publique et gratuite, elle sera obligée de faire payer aux habitants, d'une manière quelconque, l'intérêt de ce million et les frais d'entretien; qu'elle augmente son octroi, qu'elle ajoute de nouveaux centimes à ses centimes additionnels; quel que soit le moyen auquel elle aura recours, il faudra toujours que l'eau soit payée.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, nous n'avons voulu qu'appeler l'attention sur les questions qu'il soulève, et qui sont plutôt du ressort de l'économie politique que du métier de l'ingénieur.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

RÉSUMÉ DES PRINCIPES ET THÉORÈMES GÉNÉRAUX DE L'HYDRAULIQUE, APPLICABLES A L'ÉTUDE DES DISTRIBUTIONS D'EAU.

32. L'étude des projets de distribution d'eau exige, sinon la connaissance approfondie de l'hydraulique, du moins celle des principes et des théorèmes fondamentaux de cette science; car c'est sur eux et sur quelques données fournies par l'expérience que reposent les formules spéciales qui doivent servir à résoudre les différents problèmes qui peuvent se présenter dans cette étude. Ces connaissances préliminaires se trouvent dans tous les traités d'hydraulique, et nous aurions pu nous borner à y renvoyer; mais nous avons pensé qu'en les présentant dans ce chapitre d'une manière sommaire, sous une forme moins générale et plus appropriée aux applications que nous devons en faire dans le reste de cet ouvrage, nous épargnerions à nos lecteurs un travail assez pénible. Nous avons, du reste, cherché à abréger cette partie autant que possible, et à ne conserver des démonstrations que ce qui nous a paru indispensable pour faire comprendre les résultats.

33. En mécanique, on considère l'eau comme un corps fluide et incompressible, c'est-à-dire, qui peut changer de forme indéfiniment, se mouler dans les vases qui le contiennent sans présenter de résistance, et être soumis à la plus grande pression sans changer de volume.

En réalité, l'eau n'est ni incompressible, ni parfaitement fluide; mais ses changements de forme par l'effet de la pression sont si petits que, jusqu'à présent, on ne s'en est pas occupé dans la pratique. Quant à la force de cohésion, elle joue un rôle assez important dans un grand nombre de phénomènes, et nous nous en sommes occupé dans nos *Etudes sur le mouvement des eaux courantes;* parce que, dans les grands cours d'eau, les molécules liquides peuvent prendre des vitesses sensiblement différentes les unes des autres; mais dans les rigoles, dans les conduites qui desservent les distributions d'eau, les dimensions des sections et les vitesses sont toujours trop faibles pour qu'il puisse y avoir de l'intérêt à tenir compte de

Digitized by Google

la cohésion, c'est-à-dire des forces qui se développent lorsque les molécules glissent les unes sur les autres. Nous considérerons donc, dans toutes les questions dont nous allons nous occuper, l'eau comme parfaitement fluide et incompressible.

34. De ces deux propriétés on tire les conséquences suivantes, qu'il nous suffira d'énoncer :

1° La surface d'un liquide en repos est horizontale ;

2° Toutes les tranches horizontales éprouvent la même pression p sur chaque unité de surface ; de sorte que si ω est la surface d'une tranche horizontale, la pression qu'elle supporte est $p\omega$;

3° Cette pression p est égale au poids du liquide supérieur sur l'unité de surface, augmenté de la pression P_0 qui a lieu sur la surface supérieure ; de sorte qu'en appelant ρ la densité du liquide, et z la distance verticale de la tranche à la surface supérieure, on a : $p = \rho z + P_0$.

4° La pression sur un élément de surface plongé dans l'eau, quelle que soit son inclinaison, est égale à la surface de cet élément, multipliée par la pression par unité, $\rho z + P_0$, de la couche horizontale qui passe par le centre de cet élément ;

5° Si le long de la paroi d'un vase fermé (fig. 1), dont la surface supérieure AB supporte une pression $P_0\,\Omega_0$, on perce des trous à diverses hauteurs, et qu'on y applique des manomètres mn, pq, dans lesquels le vide aura été fait ; le liquide s'y élèvera au-dessus de AB, à une hauteur h, capable de produire sur la paroi une pression égale à $\rho z + P_0$; on aura donc :

$$\rho z + P_0 = \rho h,$$

et par conséquent

$$h = z + \frac{P_0}{\rho}.$$

Toutes ces colonnes manométriques s'arrêteront à une surface A'B' que nous appellerons surface de pression élevée de $H_0 = \frac{P_0}{\rho}$ au-dessus de AB. Cette surface, dans le cas où le liquide est en repos, est un plan horizontal ; et si la surface AB est exposée à l'air libre, et que le liquide soit de l'eau, en appelant P_a la pression atmosphérique, et $H_a = \frac{P_a}{\rho}$ la hauteur d'eau capable de la produire, on a :

$$H_0 = H_a = 10^m,33.$$

Digitized by Google

6° Si l'on applique à la paroi du vase des manomètres $m'n'$, $p'q'$ soumis à la pression de l'air, l'eau s'y élèvera au-dessus de la surface AB à une hauteur H' telle qu'on ait :

$$\rho z + P_0 = \rho z + \rho H' + P_a.$$

En appelant P_a la pression par mètre carré de l'atmosphère, on aura donc

$$H' = \frac{P_0 - P_a}{\rho},$$

Toutes ces colonnes manométriques s'arrêteront à une surface CC', que nous appellerons surface de charge, et qui, dans le cas où le liquide est en repos, est un plan horizontal. Sa distance A'C' à la ligne de pression est H_a.

Si la surface AB n'éprouve d'autre pression que celle de l'atmosphère, la surface de charge se confond avec celle de la couche supérieure du liquide.

Il est essentiel de remarquer que le niveau des colonnes manométriques, pour le liquide en repos, n'est influencé ni par leur section, ni par leur direction, ni par la position ou la grandeur des orifices auxquels elles correspondent.

35. Considérons maintenant (fig. 2) un liquide en mouvement dans un vase entretenu constamment plein, et cherchons les relations qui existent entre les quantités suivantes :

Ω_0 la surface supérieure;
ω la surface d'une section quelconque;
Ω la surface de la section extrême;
ρ la densité du liquide;
z la distance verticale de la section quelconque ω à la surface supérieure;
Z celle de la section extrême à la même surface;
s la longueur de la paroi du vase comptée à partir de la surface supérieure;
P_0, p, P les pressions par mètre carré : sur la section supérieure, sur la section quelconque, sur la section de sortie;
H_0, h, H les hauteurs du liquide produisant ces pressions sur l'unité de surface;
V_0, v, V les vitesses des sections Ω_0, ω, Ω;
g l'intensité de la pesanteur;
χ le périmètre d'une section quelconque du vase.

Digitized by Google

Dans ce qui va suivre, nous continuerons d'ailleurs de désigner par H_a la hauteur de liquide qui produirait la pression P_a de l'atmosphère.

L'expérience a appris que le mouvement d'un liquide dans un vase développe une force retardatrice proportionnelle au périmètre χ, croissant avec la vitesse, et indépendante de la pression ; de manière qu'on peut la représenter par $\chi f(v)$. Il y a donc une différence complète entre les lois du frottement des liquides et des solides.

Le frottement est :

Pour les solides,	*Pour les liquides,*
proportionnel à la pression,	indépendant de la pression,
indépendant de la surface de contact,	proportionnel à la surface de contact,
indépendant de sa vitesse.	proportionnel à une fonction qui croît rapidement avec la vitesse.

Il suit de là que chaque tranche du liquide est soumise à une force retardatrice qu'on peut représenter par $\chi f(v)ds$; $\frac{\chi}{\omega}f(v)ds$ est donc l'intensité de cette force par unité de surface dans la tranche ω. On pourrait la remplacer par une colonne de liquide d'une hauteur dy, qu'on déterminerait par l'équation : $\rho dy = \frac{\chi}{\omega}f(v)ds$. D'où il suit que $y = \int_0^s \frac{\chi}{\rho\omega}f(v)ds$ est la hauteur de la colonne de liquide qui remplacerait le frottement de la paroi du vase, depuis la surface AB jusqu'à la section ω.

Le volume d'une tranche quelconque ω, est ωds; son poids, $\rho\omega ds$; sa masse, $\frac{\rho\omega ds}{g}$.

Voici maintenant les forces qui agissent sur cette tranche : son poids, la pression sur la surface supérieure ωp, la pression sur la surface inférieure en sens contraire du mouvement $\omega(p+dp)$ (ces deux forces se réduisent évidemment à $-\omega dp$); enfin le frottement $-\chi f(v)$.

Le travail de ces forces pendant l'instant dt est :

pour la pesanteur,	$\rho\omega dsdz$,
pour la pression,	$-\omega dpds$,
pour le frottement,	$-\chi f(v)dsds$.

L'équation du mouvement de la tranche sera donc :

$$\frac{\rho\omega ds}{g}vdv = \rho\omega dsdz - \omega dsdp - \chi f(v)\,dsds,$$

Digitized by Google

ou
$$\frac{vdv}{g} = dz - \frac{dp}{\rho} - \frac{\chi}{\rho\omega} f(v)ds.$$

En intégrant depuis la surface supérieure jusqu'à la surface ω, il vient :

$$\frac{v^2 - V_0^2}{2g} = z + \frac{P_0 - p}{\rho} - \int_0^s \frac{\chi}{\rho\omega} f(v)ds;$$

ou en mettant pour $\frac{P_0}{\rho}$, $\frac{p}{\rho}$, $\int_0^s \frac{\chi}{\rho\omega} f(v)ds$ leurs valeurs :

$$\frac{v^2 - V_0^2}{2g} = H_0 + z - h - y, \qquad (1)$$

ou
$$\frac{v^2}{2g} + h + y - z = \frac{V_0^2}{2g} + H_0.$$

Les quantités contenues dans le premier membre de cette équation, et qui sont relatives soit à la vitesse, soit à la position de la tranche ω, soit aux forces qui agissent sur elle, forment une somme constante. La quantité y qui représente le frottement de la paroi du vase depuis son origine jusqu'à la section considérée s'appelle la perte de charge. En effet, nous avons vu tout à l'heure que la pression sur une tranche était exprimée, à l'état de repos, par $H_0 + z$, tandis qu'à l'état de mouvement on a :

$$h = H_0 + z - y - \left(\frac{v^2 - V_0^2}{2g}\right).$$

Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

36. Lorsque la forme du vase est déterminée, on a entre v et V_0 la relation $\omega v = \Omega_0 V_0$, et l'équation (1) peut se mettre sous la forme :

$$\frac{v^2}{2g}\left(1 - \frac{\omega^2}{\Omega_0^2}\right) = H_0 + z - h - y. \qquad (2)$$

En appliquant cette équation à l'orifice de sortie, on a :

$$V = \sqrt{2g(H_0 + Z - H - Y)\frac{1}{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\Omega_0^2}\right)}}.$$

Le cas pratique qui se présente le plus fréquemment, c'est celui où la surface supérieure Ω_0 est très-grande par rapport à Ω. On a alors :

$$V = \sqrt{2g(H_0 + Z - H - Y)},$$

$H_0 + Z - H$, c'est ce qu'on appelle la charge sur l'orifice ; si on la désigne par ζ, on a :

Digitized by Google

$$V = \sqrt{2g(\zeta - Y)}. \qquad (3)$$

Lorsque le vase est assez court pour qu'on puisse négliger l'effet du frottement Y, qui a lieu depuis la surface supérieure jusqu'à l'orifice de sortie, on a simplement :

$$V = \sqrt{2g\zeta}. \qquad (4)$$

L'équation (4) peut être considérée comme l'équation fondamentale de l'hydraulique; c'est celle dont l'application est la plus fréquente. V s'appelle la vitesse due à la hauteur ζ, et ζ la hauteur génératrice de la vitesse V. Remarquons que la vitesse de la tranche de sortie est précisément celle qu'elle aurait si elle était tombée d'une hauteur ζ.

La plupart des écoulements que l'on considère dans la pratique ont lieu entre deux vases dont les surfaces supérieures ne sont soumises qu'à la pression atmosphérique. De sorte que $H = H_a + h_1$, h_1 désignant la hauteur de l'eau dans le second vase au-dessus de l'orifice de sortie. On a alors (fig. 3) :

$$\zeta = H_a + Z - H = Z - h_1 ;$$

c'est-à-dire que ζ est la différence de niveau entre les deux vases. Il suit de là que le débit d'un orifice reste constant toutes les fois que, conservant sa section Ω, on l'élève ou on l'abaisse le long de la paroi du vase dans lequel il dégorge, pourvu que ce changement de position n'altère pas sensiblement la longueur du vase, ou plutôt les frottements de la paroi. En effet, le débit est toujours exprimé par

$$Q = \Omega\sqrt{2g(\zeta - Y)}; \qquad (5)$$

c'est ce qui a lieu évidemment dans les vases très-courts, puisqu'alors on néglige le terme Y. Ainsi, les deux orifices O et O' de la fig. 3 auraient le même débit, s'ils avaient la même section.

37. Pour que la vitesse V ait l'intensité déterminée par les équations précédentes, il faut que la forme du vase et sa position remplissent certaines conditions. En effet, la pression h dans une section quelconque est toujours nulle ou positive. De sorte qu'on a le maximum que peut atteindre la vitesse dans une section en faisant $h = o$ dans l'équation (1). On a donc toujours :

$$v^2 < V_0^2 + 2g(z + H_0 - y).$$

Digitized by Google

Si nous supposons que la vitesse V_0 de la section supérieure soit nulle, en négligeant l'effet du frottement y, cette condition se réduit à :

$$v < \sqrt{2g(H_0 + z)}.$$

Ainsi, si pour une section du vase on avait $z < -H_0$ (fig. 4), il n'y aurait pas d'écoulement possible. Si, ce vase étant rempli, on ouvrait l'orifice O, il se formerait un vide C'MD' tel, que la hauteur du point C' au-dessus de la surface AB serait égale à H_0, et celle de D' au-dessus de la surface FG à H_a, le vase FG étant supposé ouvert à l'air libre. Maintenant si l'on enlevait ce dernier vase, la colonne OD' s'échapperait et serait remplacée par de l'air; si, en outre, la pression atmosphérique agissait seule sur la surface AB, le liquide restant prendrait le même niveau dans les deux branches ABK, KCM.

Si la partie supérieure du siphon (c'est ainsi qu'on appelle les vases dont quelques parties dépassent le niveau supérieur du liquide) est au-dessous de A'B' (fig. 5), il y a écoulement; mais le débit à l'orifice O ne sera celui donné par la formule (5) qu'autant que toutes les sections antérieures pourront avoir un débit au moins égal à celui que donne cette formule. En supposant qu'il s'agisse d'un vase très-court pour lequel on puisse négliger le frottement, il faudra qu'on ait :

$$\omega'\sqrt{2g(H_0 + z')} > \Omega\sqrt{2g\zeta} \text{ ou } \omega'^2(H_0 + z') > \Omega^2\zeta$$

(z' pouvant être une quantité négative comme dans le cas de la fig. 5).

Si cette condition n'est pas remplie, il se formera un vide entre la section ω' et un point situé à H_a au-dessus de la surface du bassin inférieur, qui reçoit la pression atmosphérique.

Il n'est pas nécessaire, pour que cet effet se produise, que le vase s'élève au-dessus de la surface AB; l'inégalité précédente peut n'être pas satisfaite, même avec des valeurs de z toutes positives, pourvu qu'une section ω' fût assez petite, ou que la section de sortie et la charge sur cette section fussent assez grandes (fig. 6 et 7). Il est évident, du reste, qu'il ne peut y avoir de vide qu'autant qu'il y a une distance verticale plus grande que H_a entre la section ω' et la section de sortie. Si cette condition n'existe pas (fig. 8), il n'y a pas de vide, mais la pression y est toujours nulle, c'est-à-dire que si l'on établit en ce point un manomètre, plongeant par le bas dans un récipient ouvert à l'air libre, l'eau pourra

Digitized by Google

s'y élever à la hauteur H_a, et que si le récipient est à une distance verticale de ω' moindre que H_a, l'eau pourra monter dans le vase FG.

Si les orifices O, dans les figures 4, 5, 6 et 7, débouchaient à l'air libre, ce fluide, pénétrant dans l'intérieur des vases, y changerait les conditions de l'écoulement. Le siphon de la figure 4 cesserait de fonctionner; l'écoulement aurait lieu dans les figures 5, 6 et 7, dans les conditions ordinaires, au-dessus de ω', c'est-à-dire que la vitesse de sortie serait $\sqrt{2gz'}$ et le produit $\omega'\sqrt{2gz'}$; mais en aval, la section variable a de l'eau serait donnée par l'équation,

$$a\sqrt{2gz}=\omega'\sqrt{2gz'}, \text{ ou } a=\omega'\sqrt{\frac{z'}{z}}.$$

Lorsque la pression devient nulle dans un vase, et qu'il se trouve dans des conditions telles qu'un vide puisse se former, l'écoulement ne peut guère être soumis au calcul. Les étranglements occasionnent toujours de grandes pertes de force vive, de plus l'air dissous dans l'eau et la vapeur se dégageant dans ces espaces, y produisent une tension qui a pour résultat de diminuer la vitesse. Nous ne nous sommes arrêté sur ces cas exceptionnels que pour indiquer les caractères généraux des phénomènes qui se présentent alors, et pour faire voir que les formules de l'hydraulique ne sont plus applicables. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet, attendu que les tuyaux employés dans les distributions d'eau pourraient donner lieu à des difficultés de cette nature, si l'on ne prenait pas les précautions nécessaires.

38. Nous avons supposé, dans les formules précédentes, que la vitesse de sortie était la même pour tous les filets d'un orifice et égale à celle du filet du centre de la section. Lorsqu'il y a peu de charge sur cet orifice, ou lorsque sa dimension verticale est considérable, il y a lieu de rectifier la formule précédente et de la remplacer par la suivante :

$$Q=\int_{z_0}^{z_1} y\sqrt{2gz}\,dz,$$

y étant la largeur de l'orifice correspondant à la profondeur z.

On peut reconnaître géométriquement quelles sont les circonstances où il peut être utile d'avoir recours à cette formule.

Imaginons que le long de la paroi verticale BD d'un vase dont le niveau

Digitized by Google

est AB (fig. 9), on mène des lignes horizontales proportionnelles aux vitesses que prendrait le liquide si l'on perçait un petit trou dans la paroi, on formera ainsi une parabole dont l'équation sera :

$$x = \sqrt{2gz}.$$

Le débit d'un orifice vertical *pq* ou *p'q'*, ayant pour largeur l'unité linéaire, sera évidemment exprimé par le trapèze curviligne *mpqn*, *m'p'q'n'*, et l'on voit de suite, à la seule inspection de la figure, dans quels cas la vitesse sur le centre de l'orifice peut être substituée à la vitesse moyenne.

Nous ferons remarquer en passant que les vitesses diffèrent d'autant plus entre elles, pour une certaine différence de charges, qu'elles sont plus petites; de sorte que, dans les grandes charges, un mètre de plus ou de moins n'a pas d'influence sensible sur le débit, et que, dans les charges très-faibles, un ou deux centimètres en plus ou en moins le font varier dans une grande proportion. Ce résultat se reconnaît aussi par l'examen de la table placée à la fin de cet ouvrage, laquelle donne les vitesses correspondant à toutes les charges comprises entre 0 et 10^m.

De ce que le débit de l'orifice vertical *pq* est exprimé géométriquement, pour une unité linéaire de largeur horizontale, par le trapèze curviligne *mpqn*, on voit que la valeur du débit d'un orifice rectangulaire est égale au produit de sa largeur L par l'aire parabolique *mpqn*, c'est-à-dire par

$$Q = \frac{2}{3} L \sqrt{2g} \left(z^{\frac{3}{2}} - z_0^{\frac{3}{2}} \right).$$

Si la hauteur z_0 est nulle, la formule se réduit à

$$Q = \frac{2}{3} L z \sqrt{2gz}.$$

Lorsque la valeur de z_0 est très-grande par rapport à $z - z_0$, on peut, comme on vient de le dire, prendre pour vitesse moyenne la vitesse au centre de l'orifice, et on a :

$$Q = L(z - z_0) \sqrt{2g \frac{z + z_0}{2}}.$$

39. Une correction bien plus importante à faire à la formule

$$Q = \Omega \sqrt{2g\zeta},$$

Digitized by Google

est celle qui résulte de la contraction de la veine fluide à la sortie de l'orifice. Nous avons supposé, en effet, que tous les filets fluides arrivaient à l'orifice de sortie avec des vitesses sensiblement parallèles; or, il n'en est pas ainsi lorsqu'il est simplement percé dans une paroi plane. Les filets s'y précipitent alors dans toutes les directions; si la paroi est mince, cette convergence se continue à l'extérieur (fig. 10); de sorte que la section de la veine fluide va en diminuant jusqu'à une certaine distance, où elle atteint son minimum. C'est évidemment cette section *pq* qui doit entrer dans la formule précédente, et non la section PQ à la paroi. Jusqu'à présent, la théorie a été impuissante pour déterminer le rapport qui existe entre ces sections, mais le problème a été résolu expérimentalement. On a comparé les débits fournis par les orifices avec les débits donnés par le calcul, et on les a trouvés beaucoup plus faibles; d'un autre côté, en mesurant l'amplitude du jet, on s'est assuré que la vitesse était bien celle donnée par la formule $V=\sqrt{2g\zeta}$; on en a conclu que, dans ce système d'orifice, le débit pouvait se déduire de la formule théorique en multipliant la surface ω par un coefficient m, sauf à faire varier ce coefficient suivant les dimensions de l'orifice et suivant la charge.

Nous donnons à la fin de cet ouvrage un tableau des diverses valeurs du coefficient m, qui, en général, diffèrent peu de 0,62, lorsque la hauteur de l'orifice est plus grande que $0^m,05$, et la charge sur le centre plus grande que $0^m,04$.

Ces coefficients supposent que l'orifice est percé en pleine paroi, c'est-à-dire dans un endroit éloigné du fond ou des côtés du réservoir. Lorsque l'orifice se trouve dans le prolongement d'une paroi, la contraction est incomplète et le débit augmente. M. Bidone a trouvé que le coefficient m devait alors être multiplié par $\left(1+0,152\frac{n}{p}\right)$, p désignant le périmètre de l'orifice, et n, la partie de ce périmètre sur laquelle la contraction n'a pas lieu.

Si la paroi du réservoir a une certaine épaisseur, elle équivaut à un ajutage ajouté à la paroi même. L'eau, avant de s'échapper dans l'air, coule alors dans un tuyau d'une certaine longueur qui, quoique très-faible, modifie sensiblement le débit (fig. 11).

Si l'ajutage est cylindrique et plus court que la longueur de la veine contractée (moitié du diamètre), il est sans influence sur le débit. Lorsqu'il

Digitized by Google

est plus long, il l'augmente, et on a trouvé qu'il était alors sensiblement de $0,82\,\Omega\sqrt{2g\zeta}$. Mais ce qu'il faut remarquer, c'est que, dans cette circonstance, le coefficient affecte la vitesse et non pas la section. Pour un jet d'eau, rien ne serait donc si mauvais qu'un ajutage cylindrique; puisque la vitesse du liquide sortant est diminuée, il est évident qu'il se développe dans l'ajutage des forces retardatrices particulières.

Si l'ajutage est conique, convergent, épousant plus ou moins la forme naturelle de la veine de sortie (fig. 12), la vitesse reprend son intensité; mais la section de la veine diminue. D'après des expériences de M. Daubuisson, il y a alors lieu d'introduire deux coefficients dans le calcul, l'un qui modifie la section, l'autre la vitesse; d'où résulte le coefficient pour le débit. Ce qu'il est essentiel de remarquer, c'est que, quand l'ajutage est convenablement convergent, on retrouve la vitesse théorique à 1 ou 2 centièmes près, ce qui démontre qu'il ne se développe pas de forces retardatrices spéciales dans ce système d'ajutage.

Les ajutages coniques divergents présentent un phénomène qui a été l'objet de nombreuses recherches à l'époque où la théorie de l'écoulement des liquides n'était pas bien connue. A l'aide de ces ajutages (fig. 13), on obtient un produit sensiblement plus considérable que celui donné par l'orifice PQ en mince paroi, ou par l'orifice cylindrique. M. Daubuisson ne voit d'autre cause physique à cette augmentation de débit, que l'action des parois de l'ajutage, et, en définitive, l'attraction moléculaire.

M. Belanger a réfuté cette erreur dans ses leçons à l'Ecole des ponts et chaussées. Nous nous bornerons à faire remarquer que dans l'ajutage conique, l'orifice de sortie est EF; que c'est à lui, par conséquent, et non pas aux étranglements PQ et CD, qu'il faut appliquer la formule $Q = \Omega\sqrt{2g\zeta}$; qu'il y a lieu seulement de vérifier pour les sections antérieures, et principalement pour les étranglements, si la quantité $\frac{Q}{\omega}$ ne serait pas plus grande que la limite possible $\sqrt{2g(H_0+z)}$, auquel cas le débit ne pourrait dépasser $\omega\sqrt{2g(H_0+z)}$ (n° 37). Dans la pratique même, on trouverait encore un débit bien inférieur à cette limite, si l'étranglement était considérable, attendu qu'eu égard à la grande vitesse produite, il y aurait des chocs, des tourbillons qui absorberaient une grande partie du travail.

Lorsque l'écoulement a lieu en déversoir (fig. 14), il peut être assimilé à celui d'un orifice en mince paroi ayant une charge nulle sur sa partie

Digitized by Google

supérieure. La formule à appliquer dans ce cas serait, d'après ce que nous avons vu (n° 38), en appelant L la largeur du déversoir :

$$Q = \frac{2}{3} Lz\sqrt{2gz} = 2,95\, Lz\sqrt{z}.$$

Cette expression ne tient pas compte de la contraction de la veine, qui a pour effet de diminuer le débit. L'expérience a démontré que, pour une longueur L indéfinie, on a :

$$Q = 1,96\, Lz\sqrt{z}.$$

Lorsque le déversoir est court, c'est-à-dire lorsqu'il a une contraction latérale, le coefficient 1,96 varie suivant la charge. MM. Poncelet et Lesbros, pour un déversoir de $0^m,20$ de largeur, ont établi les valeurs suivantes :

Charges....	0,01 m	0,02 m	0,03 m	0,04 m	0,06 m	0,08 m	0,10 m	0,15 m	0,20 m	0,22 m
Coefficient..	1,88	1,85	1,82	1,80	1,78	1,76	1,75	1,74	1,73	1,71

Nous ne nous étendrons pas davantage sur cette question du débit par les orifices, parce qu'elle n'a pas, dans les distributions d'eau, toute l'importance qu'on pourrait lui supposer. Il est trop facile d'augmenter ou de diminuer les dimensions des orifices, pour qu'elles soient jamais l'objet d'une difficulté ou d'un embarras. Lorsqu'ils se trouvent d'ailleurs à l'extrémité des tuyaux, ces dimensions n'ont presque plus d'influence sur le débit, qui se détermine par des considérations toutes différentes, comme on le verra tout à l'heure.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

CONDUITE SIMPLE A DIAMÈTRE CONSTANT. — LIGNES DE PRESSION ET DE CHARGE. — DÉBIT A L'EXTRÉMITÉ.

40. Dans les calculs relatifs à l'établissement des conduites, il est très-important de se rendre compte de la pression intérieure du liquide contre la paroi, et surtout de la charge, c'est-à-dire de l'excès de cette pression sur la pression atmosphérique.

La pression sur la paroi est donnée par l'équation (n° 35).

$$h = H_0 + z + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} - y,$$

ou h indique la hauteur à laquelle l'eau s'élèverait au-dessus de la paroi, dans un tube où l'on aurait fait le vide. Si l'on suppose que la vitesse V_0 de la surface supérieure est négligeable, à cause de la grandeur de cette surface, et si l'on rapporte la courbe donnée par l'équation précédente à une horizontale A'B' (*fig.* 2) située à H_0 au-dessus de cette surface, on aura, en appelant η l'ordonnée de cette courbe :

$$\eta = \frac{v^2}{2g} + y. \qquad (6)$$

Quand le liquide est en repos, toutes les colonnes manométriques s'élèvent jusqu'à l'horizontale A'B' (*fig.* 1); quand il est en mouvement (*fig.* 2), il faut en retrancher, 1° la hauteur due à la vitesse; 2° la quantité y qui est proportionnelle au travail des forces retardatrices depuis l'origine du vase.

41. Dans les applications pratiques, on cherche plutôt la charge sur les conduites que la pression. Pour avoir la ligne de charge, il suffit d'ajouter H_a à l'ordonnée de la ligne de pression, ou de supposer tous les points de celle-ci descendus verticalement de la hauteur H_a, suivant CM''F'', de sorte que l'équation (6), qui est celle de la ligne de pression, représente la ligne de charge lorsque l'on conçoit l'ordonnée η comptée de haut en bas, à partir de la droite CC' qui, comme nous savons, est la ligne de charge elle-même,

Digitized by Google

dans le cas du repos du liquide. Si la surface AB ne supporte que la pression atmosphérique, le plan horizontal passant par CC′ coïncide avec cette surface, et alors la ligne de charge affecte la position BMF.

Pour l'orifice d'extrémité Ω, on a :

$$\eta = \frac{V^2}{2g} + Y.$$

Mais, d'après l'équation (3), $\frac{V^2}{2g} = \zeta - Y$; donc pour cet orifice $\eta = \zeta$, c'est-à-dire que la ligne de pression passe par le sommet F′ de la colonne manométrique, et la ligne de charge par la surface F du bassin inférieur dans lequel l'eau dégorge, lorsque cette surface n'est soumise qu'à la pression atmosphérique, ou par le sommet de l'orifice, lorsque l'écoulement a lieu à l'air libre.

Si nous considérons un point N (*fig.* 3) très-voisin du réservoir, pour lequel, par conséquent, on peut négliger y, l'ordonnée CN′ sera égale à $\frac{v^2}{2g}$, c'est-à-dire que dans un manomètre implanté en N, l'eau ne s'élèverait qu'en N′. D'après ce que nous venons de dire, N′ se confondrait avec N s'il y avait en N un orifice de sortie. Si la section de la partie NMO du vase était constante, la vitesse le serait par suite dans toute cette partie ; et si, de plus, le parcours de N en O était assez court pour qu'on pût négliger le frottement à la paroi, la ligne de charge serait l'horizontale N′FG, passant par la surface du bassin inférieur.

Il faut remarquer que la ligne de charge ne dépend pas de la direction du vase ; elle est la même pour la conduite NMO que pour la conduite NMO′ ; mais ce déplacement de conduite change la charge sur la paroi, qui est toujours mesurée par la distance de la conduite à la ligne de charge.

Cette ligne peut passer sous la conduite, si pour un point quelconque on a $\frac{v^2}{2g} > z + H_0 - H_a$; mais nous avons vu que v était tout au plus égal à $\sqrt{2g(H_0 + z)}$, la limite de η est donc $z + H_0$, c'est-à-dire que la ligne de charge ne peut descendre que de H_a au-dessous de la conduite.

Ainsi, dans la *fig.* 8, où une portion de conduite M*m* est supposée remplir la condition nécessaire pour que v soit égal à $\sqrt{2g(H_0 + z)}$, la ligne de charge (en négligeant toujours l'effet du frottement) passerait à H_a au-dessous de la conduite. Si l'on implantait dans cette partie de la conduite trois manomètres plongeant dans des récipients R, R′, R″, l'eau du récipient R,

Digitized by Google

situé au niveau de la ligne de charge, s'élèverait jusqu'à la conduite ; l'eau du récipient R', situé au-dessus de la ligne de charge, serait aspirée dans la conduite ; l'eau du récipient R'', situé plus bas que la ligne de charge, s'élèverait de H_a au-dessus de sa surface, et laisserait une partie vide dans le manomètre.

Il est essentiel de remarquer que les variations de charge données par le terme $\frac{v^2}{2g}$ n'indiquent pas que l'eau a perdu de sa puissance élévatoire ; ce n'est pour ainsi dire qu'une transformation de la pression en vitesse et de la vitesse en pression, de sorte que la ligne de charge s'abaisse et se relève suivant que la section s'élargit ou se rétrécit. C'est le même phénomène qui se produit sur la surface de l'eau dans les canaux découverts, dans les fleuves et les rivières, et que nous avons signalé dans nos *Etudes sur le mouvement des eaux courantes*, chap. IV. Dans les distributions d'eau, on évite avec soin les variations de section ; et, comme en outre la vitesse de l'eau ne dépasse pas certaines limites très-restreintes, on néglige ordinairement, dans le calcul de la charge, les variations qui ne sont dues qu'à celles de section, et on ne tient compte que de celles qui proviennent du frottement du liquide contre la paroi. C'est là la partie la plus importante de la question dont nous allons nous occuper maintenant. Néanmoins, il est indispensable de connaître la théorie qui précède pour se rendre compte de certains phénomènes que présentent les tuyaux dans des circonstances particulières, d'autant plus que la perte de charge par l'effet du frottement à la paroi en produit d'analogues, comme on le verra plus tard.

Imaginons deux réservoirs ouverts à l'air libre, dont les niveaux AB et FG diffèrent de ζ (*fig.* 15), communiquant entre eux par deux conduites PMO et P'M'O', ayant des diamètres d et D constants. La longueur de ces conduites est supposée la même et égale à leur projection horizontale, c'est-à-dire que nous ne tenons pas compte des allongements produits par leurs sinuosités dans le plan vertical.

D'après ce que nous avons dit ci-dessus, on déterminera la ligne de charge pour la conduite PMO en prenant $BD = \frac{v^2}{2g}$ et joignant D et F par une ligne droite. En effet, la perte de charge pour un élément de la conduite étant $\frac{\chi}{\omega} f(v)\, ds$ (n° 35), on voit que si χ, ω et v sont constants, la perte de charge par mètre est constante. De plus, nous avons fait voir que les

Digitized by Google

points D et F appartiennent à la ligne de charge. Pour la conduite P'M'O', on prendrait $BD' = \frac{v'^2}{2g}$ et on joindrait D' et F ; mais pour peu que les conduites soient longues $\frac{v^2}{2g}$ et $\frac{v'^2}{2g}$ sont très-petits, pour $v = 1$ on a $\frac{v^2}{2g} = 0,05$; de sorte que dans la pratique, on considère la ligne BF qui joint les surfaces des réservoirs extrêmes, comme ligne de charge commune à toutes les conduites qui les réunissent.

42. Jusqu'à présent, nous avons représenté par une fonction indéterminée $f(v)$ la résistance de la paroi. Il était indispensable, pour la pratique, de la déterminer. C'est ce qu'on a fait par expérience. En implantant sur deux points *mn* d'une conduite (*fig.* 15), deux manomètres, la différence ζ' de leur hauteur a donné la perte de charge correspondant à la longueur l; on a eu alors :

$$f(v) = \frac{\omega}{\chi} \frac{\zeta'}{l}.$$

En adoptant pour fonction de v le développement $\alpha v + \beta v^2 + \gamma v^3$, on a trouvé que deux coefficients suffisaient pour exprimer d'une manière assez exacte le résultat des expériences, et qu'on pouvait leur attribuer les valeurs suivantes :

$$\alpha = 0,0000173314$$
$$\beta = 0,000348259$$

C'est M. de Prony qui, en s'appuyant sur les expériences de Couplet et Bossut, a déterminé ces coefficients numériques, et a fait adopter, pour exprimer la résistance des tuyaux, l'équation :

$$\frac{1}{4} DJ = \alpha u + \beta u^2,$$

dans laquelle J représente la perte de charge par mètre, et u la vitesse moyenne. Ce célèbre ingénieur a dressé des tables qui donnent les valeurs de $\frac{1}{4}$ DJ correspondant aux différences de u; nous les reproduisons à la fin de cet ouvrage.

Nous avons discuté l'exactitude de la formule précédente dans le premier chapitre de nos *Etudes*, et démontré que si, au point de vue théorique, elle laisse à désirer, en ce qu'elle ne tient pas compte de la différence de vitesse des filets, elle peut être admise dans la pratique, parce que le

Digitized by Google

diamètre des tuyaux n'est jamais assez grand pour que cette différence soit bien sensible.

M. de Prony a même fait observer que, lorsqu'il s'agissait de calculs pratiques ordinaires, et que la vitesse de l'eau dans les tuyaux n'était pas très-petite, on pouvait remplacer la formule précédente par la formule monome,

$$\frac{1}{4}\mathrm{DJ} = \beta u^2,$$

attendu que le coefficient α n'est que le vingtième du coefficient β. Nous croyons devoir ajouter quelques considérations pour justifier cette simplification qui facilite et abrége beaucoup tous les calculs numériques relatifs au mouvement de l'eau dans les conduites.

La formule monôme ne peut donner des résultats sensiblement différents de ceux de la formule binôme que pour les très-petites vitesses; or, les erreurs que l'on peut commettre alors n'ont pas d'importance, parce que le résultat obtenu étant lui-même très-petit, n'est pas de nature à avoir d'influence sur le parti à prendre. Que cherche-t-on, en effet? Ou un diamètre suffisant pour débiter un produit donné, avec une certaine charge, ou le produit que peut fournir un diamètre donné, ou quelle charge est nécessaire, etc. Or, dans toutes ces questions la vitesse ne saurait être très-petite; ou si elle l'était dans quelque partie du système de conduites, cette partie serait comme étrangère au résultat par rapport au reste. C'est ce qu'on reconnaîtra dès qu'on aura fait quelques applications des formules à un certain nombre de questions pratiques, et ce que nous ferons peut-être comprendre dès à présent, en disant qu'il en est de ces formules comme de celles qui sont relatives à la résistance des matériaux : leur exactitude n'est nécessaire que dans les flexions et les charges considérables; peu importe au constructeur qu'une pièce de pont fléchisse d'une fraction plus ou moins grande de millimètre sous les pas d'un piéton; ce qu'il a besoin de savoir, c'est la déformation qu'elle subira sous le poids de la plus lourde voiture, c'est enfin la charge qui en occasionnera la rupture; de même, dans les distributions d'eau, ce qu'on cherche, c'est le maximum de débit, de perte de charge..., qui n'arrivent que dans les plus grandes vitesses.

Il ne faut pas perdre de vue que la formule binôme n'est elle-même qu'une approximation; non-seulement elle suppose que tous les filets ont la même vitesse, ce qui n'est pas exact, mais que le frottement à la paroi est

Digitized by Google

indépendant de la nature de cette paroi. Or, des expériences faites à Chaillot par notre prédécesseur, M. Darcy, ont pleinement confirmé nos prévisions (page 9 de nos *Etudes*); c'est-à-dire que la nature et l'état de la paroi ont une très-grande influence sur le débit; qu'un tuyau de plomb, de tôle, de fonte neufs, vieux ou plus ou moins encrassés donnent des résultats complétement différents; d'où il résulte que s'écarter d'une formule qui ne tient pas compte de ces circonstances, n'est pas toujours s'éloigner de la vérité. Enfin, on verra plus tard que les formules et les principes essentiels que nous allons établir subsisteraient même avec la formule binôme. On ne doit donc pas hésiter à se servir de la formule monôme d'une manière exclusive dans la pratique.

Comme la vitesse n'est ordinairement ni une quantité connue ni une quantité cherchée, on la remplace dans la formule monôme par $\frac{Q}{\omega}$; on a ainsi, pour un tuyau cylindrique du diamètre D et de la longueur L,

$$Y = \gamma \frac{LQ^2}{D^5}, \qquad (7)$$

γ étant un coefficient numérique dont la valeur la plus convenable, dans l'état actuel de la science, est $= 0,0025$, ce qui nous permet d'écrire :

$$Y = \left(\frac{Q}{20}\right)^2 \left(\frac{1}{D}\right)^5 L. \qquad (8)$$

Sous cette forme, le calcul de cette formule se fait très-simplement, à l'aide des tables qui se trouvent à la fin de cet ouvrage et qui donnent de suite les valeurs de $\left(\frac{Q}{20}\right)^2$ et de $\left(\frac{1}{D}\right)^5$. L'usage de ces tables étant expliqué par de nombreux exemples dans la notice qui les précède, nous croyons inutile de rien ajouter ici sur ce sujet.

43. Passons de suite à la détermination du débit. Nous avons vu que la vitesse de sortie est donnée par l'équation (3)

$$V = \sqrt{2g(\zeta - Y)}, \qquad (9)$$

en appelant ζ la charge sur l'orifice, ou $H_0 + Z - H$, et Y une hauteur proportionnelle à l'intégrale des forces retardatrices qui se sont développées dans le parcours de la conduite. Puisque le débit $Q = \Omega V$, et que Y, pour une conduite d'un diamètre D et d'une longueur L, est $\frac{\gamma LQ^2}{D^5}$, il vient, en désignant par ω l'orifice de sortie :

Digitized by Google

$$Q^2 = \frac{2g\zeta}{\frac{1}{\omega^2} + 2g\frac{\gamma L}{D^5}} = \frac{\zeta D^5}{\gamma L\left(1 + \frac{D^5}{2gL\omega^2}\right)}. \qquad (10)$$

Si ω ou L est très-petit, ce qui est le cas des vases ordinaires, on retombe sur la formule $Q = \Omega\sqrt{2g\zeta}$; si L est très-grand, ce qui est le cas des conduites en usage dans les distributions d'eau, on a

$$Q = \sqrt{\frac{\zeta D^5}{\gamma L}}, \qquad (11)$$

expression remarquable, en ce qu'elle est complétement indépendante de la grandeur de l'orifice. Nous allons voir qu'elle peut être appliquée même pour la plupart des orifices. En effet, supposons qu'ils soient circulaires et d'un diamètre d, la formule (10) devient alors :

$$Q^2 = \frac{\zeta D^5}{\gamma L\left(1 + \frac{32D}{L}\left(\frac{D}{d}\right)^4\right)}; \qquad (12)$$

$\frac{32D}{L}$ est ordinairement une fraction négligeable par rapport à 1. On pourra donc se servir de la formule (11) toutes les fois que $\left(\frac{D}{d}\right)^4$ ne sera pas assez considérable pour donner, comme facteur, une valeur importante à cette fraction. Si $d = D$, par exemple, il en résulte que pour rendre exacte la valeur de Q, donnée par l'équation (11), il suffit d'ajouter 32 D à L; pour une conduite de 0,10 de diamètre, ce serait $3^m,20$; pour $0^m,20$, $6^m,40$; pour $0^m,30$, $9^m,60$; pour $0^m,50$, 16^m. Tous ces chiffres sont négligeables, sauf quelques cas exceptionnels, en comparaison de la longueur de la conduite. De sorte qu'on est autorisé à se servir de la formule (11) pour déterminer le débit. La seule conclusion pratique à tirer de cette discussion, c'est qu'en se servant de cette formule il faut mettre pour L une longueur un peu plus grande que la longueur réelle, ce qui permet d'abréger les calculs en arrondissant le chiffre de cette dimension.

On doit remarquer que la formule (11) n'est que la reproduction de la formule (7), dans laquelle ζ remplace Y; c'est-à-dire que quand l'orifice situé à l'extrémité de la conduite est suffisamment grand, le débit est déterminé par la condition que le frottement à la paroi consomme toute la charge disponible. Nous répétons que ce n'est là qu'une approximation,

Digitized by Google

attendu que la perte de charge Y ne peut jamais être égale qu'à $\zeta - \frac{V^2}{g}$ (voir l'équation 3).

Dans les distributions d'eau, on ne détermine jamais le débit des conduites d'après la grandeur des orifices. Il n'arrive ordinairement que deux cas : ou la conduite débouche par un orifice ayant un diamètre à peu près égal au sien, ou bien l'orifice se trouve étranglé au moyen d'un robinet, et il serait fort difficile de connaître alors sa grandeur par des mesures directes, grandeur qui serait encore à corriger par des coefficients de contraction, aujourd'hui complétement inconnus. De sorte qu'on règle expérimentalement l'ouverture des orifices pour avoir un certain débit ; il y a alors une inconnue dans le problème, c'est la charge disponible sur le robinet, ou la hauteur à laquelle l'eau pourrait jaillir par un orifice vertical.

Ainsi, lorsque dans le cas représenté par la figure 15, nous avons dit que la ligne de charge était BF et que la charge à l'extrémité de la conduite était OF, nous avons implicitement supposé que les orifices O et O′ avaient le diamètre de la conduite à l'extrémité de laquelle ils étaient placés. Si ces orifices étaient modérés par des robinets, la charge pourrait devenir une hauteur quelconque OF′, et la ligne de charge une ligne quelconque BF′, le point F′ étant au-dessus du réservoir inférieur.

44. Si l'orifice débouche à l'air libre, comme dans le cas de la figure 16, pour un débit nul la ligne de charge est BC ; pour un débit faible, la perte de charge, $CC' = Y = \frac{\gamma L Q^2}{D^5}$, OC′ étant la hauteur du jet, la ligne de charge serait une parallèle à BC′ menée à une distance $\frac{v^2}{2g}$ au-dessous de cette ligne ; mais, comme nous venons de le dire, dans la pratique on la confond avec BC′ ; à mesure que le débit augmente, la ligne de charge descend en BC″, BC‴ et BO, lorsque l'orifice O est complétement ouvert. C'est sur ces principes qu'est fondée la théorie des jets d'eau ; leur hauteur théorique, d'après ce que nous venons de dire, est donnée par la formule

$$h = z - \frac{\gamma L Q^2}{D^5} ;$$

mais l'expérience a appris que pour tenir compte des résistances particulières à ce mode d'écoulement, il faut déduire de cette hauteur $0{,}01h^2$; c'est-à-dire qu'en appelant h' la hauteur réelle du jet, on a :

$$h' = h - 0{,}01h^2.$$

Digitized by Google

45. Pour faire comprendre immédiatement l'importance de la recherche des lignes de charge (c'est le nom que nous donnerons aux lignes telles que BC′, BC″, BC‴ (fig. 16), qui déterminent le sommet des colonnes manométriques implantées sur la conduite), supposons qu'on ait trois orifices *a*, *b*, *c* à desservir par la conduite PMO, on voit que si l'on fait débiter à l'orifice extrême O tout le débit possible, un seul orifice *a* sera desservi; que si on limite le débit en O, de manière que la perte de charge ne soit plus que BC‴, les orifices *a* et *b* seront seuls servis; qu'enfin, pour servir les trois orifices *a*, *b*, *c*, il faudra que la ligne de charge BC″ passe au-dessus de *c*. Or, la perte de charge dépendant du diamètre de la conduite, on peut, par le calcul, le déterminer de manière à ce que tout orifice situé au-dessous du réservoir AB soit toujours servi. C'est le problème qu'on a à résoudre dans toute distribution d'eau.

46. On vient de voir que le débit d'un orifice qui se trouve à l'extrémité d'une longue conduite se calcule d'une manière tout à fait différente de celle qui sert à calculer le débit d'un orifice ouvert directement sur un réservoir. Si, dans la formule (12), on fait tour à tour $d = D$ et $d = \frac{1}{2}D$, le rapport des produits sera $\sqrt{\frac{L+32D}{L+512D}}$. Pour $L=1000$ et $D=0^m,50$, la valeur de ce rapport devient $\sqrt{\frac{1016}{1256}}$ ou 0,90. Ainsi l'orifice, réduit au $\frac{1}{4}$ de la section, donne encore les 0,90 de la dépense primitive; on aurait les 0,96 pour $L=2000^m$, $D=0^m,30$. Plus la conduite est longue, plus son diamètre est petit, moins les dimensions de l'orifice ont d'influence sur le débit, ce qui d'ailleurs se voit directement sur la formule (12). Cependant on peut toujours rendre l'orifice assez petit pour avoir un débit aussi faible qu'on voudra; le calcul démontre seulement que, pour diminuer sensiblement le débit, il faut réduire beaucoup l'orifice.

47. On voit en même temps qu'un orifice d'une dimension déterminée, placé sur une conduite dont le débit est variable, ne peut pas être réglé, car la charge sur cet orifice change avec ce débit. Donc, pour qu'un orifice donne un produit constant, il faut qu'il soit seul sur la conduite et que la hauteur du réservoir soit invariable. C'est pour cela que, dans les anciennes distributions d'eau, les branchements particuliers étaient isolés et correspondaient tous à une cuvette spéciale. Cependant, le débit d'un orifice est à peu près constant quand les variations de charge sont petites

Digitized by Google

relativement à la charge totale. En effet, soit a la plus grande variation de la charge, les limites du débit seront proportionnelles à $\sqrt{z}$ et $\sqrt{z+a}$. Or, on a :

$$\sqrt{z+a}=\sqrt{z}\left(1+\frac{a}{z}\right)^{\frac{1}{2}}=\sqrt{z}\left(1+\frac{1}{2}\frac{a}{z}-\frac{1}{8}\frac{a^2}{z^2}\ldots\right).$$

On voit que le débit ne pourra pas varier de plus de $\frac{a}{2z}$, et qu'en le supposant proportionnel à $\sqrt{z+\frac{1}{2}a}$, la plus grande différence avec le débit moyen sera de $\frac{a}{4z}$, on pourra donc le considérer comme constant dans la pratique, si $\frac{a}{z}$ est petit.

Il y a donc dans les conduites certains orifices qui peuvent être à peu près réglés; tel serait, par exemple (fig. 16), l'orifice a situé près du réservoir et beaucoup au-dessous de lui.

48. D'après ce que nous venons de voir, le plus grand débit possible d'un orifice situé à l'extrémité d'une conduite est :

$$Q=\sqrt{\frac{ZD^5}{\gamma L}} \quad \text{ou} \quad Q=\sqrt{\frac{\zeta D^5}{\gamma L}}, \qquad (7)$$

suivant qu'il débouche à l'air libre (fig. 16), ou dans un réservoir (fig. 15); lorsqu'on modère le débit de l'orifice, la charge qui reste sur l'orifice est $Z-Y$ ou $\zeta-Y$, et on a :

$$Y=\frac{\gamma L Q^2}{D^5}.$$

On peut donc calculer les pertes de charge, c'est-à-dire les quantités CC′, CC″, etc., correspondant à chaque débit (fig. 16).

Ces équations générales sont cependant soumises à certaines restrictions analogues à celles dont nous avons parlé plus haut (n° 37), et il est très-important de placer toujours les conduites de manière qu'elles puissent fonctionner régulièrement.

Supposons une conduite ayant le nivellement de la figure 17, menons la ligne des pressions B′F′; il est clair que si cette ligne coupe la conduite, l'eau ne pourra pas couler à plein tuyau; en effet, on aurait alors, dans une partie de la conduite, une pression négative; c'est-à-dire que pour tous les points de la conduite on doit avoir :

Digitized by Google

$$\frac{Y}{L} < \frac{H_a+z}{l}.$$

Soit N un point de la conduite pour lequel $\frac{H_a+z}{l} < \frac{Y}{L}$ soit un minimum; la tangente B'N à la conduite sera la ligne des pressions pour la première partie de la conduite; une parallèle F'P pour la partie suivante; dans la partie NP l'eau ne coulera pas à plein tuyau et sa surface se réglera sur la ligne des pressions, de sorte qu'en définitive cette ligne sera BNPF'; la ligne de charge sera une parallèle BN'P'F et non pas BF; le débit sera exprimé par

$$\sqrt{\frac{(H_a+z')D^5}{\gamma l}}.$$

Dans toutes les portions de conduite situées au-dessus de la ligne de charge, l'air extérieur tend à rentrer, de sorte que s'il s'y déclare la moindre fissure, l'air y pénètre et arrête complétement le débit, si la conduite dépasse le niveau du réservoir. Il ne peut donc y avoir de branchements sur ces parties de conduite.

On remarquera que dans la figure 17 ce n'est pas le point M, le plus élevé de la conduite, qui limite le débit, mais le point N qui, quoique plus bas, se trouve, par son éloignement, dans une position moins favorable au débit.

Il n'est pas nécessaire, pour que des phénomènes de la nature de ceux que nous venons d'examiner se présentent, que le tracé de la conduite dépasse le niveau du premier réservoir. Considérons la conduite représentée par la figure 18, ayant un petit branchement intermédiaire qui dessert un orifice *a*. Si l'on ouvre le robinet en O, de manière que la ligne de charge soit BC', l'orifice *a* n'est plus servi; l'air pénètre dans le branchement jusqu'en *n*, mais le produit en O n'est pas altéré. Si, l'orifice *a* étant fermé, on ouvre complétement le robinet en O, la ligne de charge BF passe au-dessous de la conduite et l'air tend à entrer dans toute la partie MNP. Donc l'air pénétrera dans la conduite par l'orifice *a* supposé ouvert et viendra se loger en N, de sorte que le débit de cette première partie de la conduite sera $\sqrt{\frac{z'D^5}{\gamma l}}$, et la ligne de charge, la tangente BN. La dernière partie de la conduite, ayant le même débit que la première, aura pour ligne de charge la parallèle FP', la partie NP' de la conduite contiendra de l'air et de l'eau; mais le débit de l'orifice O aura toujours lieu, c'est

Digitized by Google

ce qui distingue ce cas du précédent. Il faudrait s'attendre, au reste, à ce que dans la pratique ce débit fût très-irrégulier, parce que les nombreux branchements faits sur la conduite pourraient donner lieu tantôt à des rentrées, tantôt à des sorties d'air.

Nous signalons les cas précédents, non pas comme pouvant être soumis au calcul, mais comme des inconvénients à éviter. En effet, il est bien difficile d'empêcher une pénétration d'air dans les conduites et d'y remédier quand elle a lieu. Une fuite d'eau se décèle facilement par les dégradations qu'elle occasionne si la conduite est dans le sol, et s'aperçoit directement si elle est en galerie; mais il est presque impossible de découvrir les points sur lesquels ont lieu, et surtout ont eu lieu, des rentrées d'air; de plus, l'air pénètre par des fissures imperméables à l'eau. Il est donc fort difficile de prévenir l'inconvénient signalé ou d'y remédier, et on ne doit jamais placer les conduites de distribution dans des positions où la pression extérieure puisse être plus grande que la pression intérieure.

Les conduites d'aspiration qui alimentent les pompes sont cependant dans ce cas, au moins dans une partie de leur étendue; mais alors elles sont l'objet de dispositions et de précautions particulières, qu'il serait trop dispendieux d'étendre à une conduite de distribution tout entière.

On doit admettre comme règle de tout nivellement de conduite, de n'être pas coupé par une ligne droite menée de son origine à un de ses orifices. C'est une condition à laquelle il est toujours facile de satisfaire, en plaçant la conduite dans une tranchée plus ou moins profonde.

Mais si, à cause des dépenses qu'occasionnerait ce travail, ou à cause de circonstances particulières, on est obligé de laisser des portions de conduite exposées à avoir une pression moins forte à l'intérieur qu'à l'extérieur, il faut qu'elles soient l'objet de précautions spéciales. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

49. L'équation générale :

$$Y = \frac{\gamma Q^2 L}{D^5} \qquad (7)$$

met en évidence l'influence de la charge, du diamètre et de la conduite sur son débit. Si l'on imagine qu'on fasse varier ces quantités de ΔQ, de ΔY, de ΔD et de ΔL, on obtient :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{5}{2}\frac{\Delta D}{D} + \frac{1}{2}\frac{\Delta Y}{Y} - \frac{1}{2}\frac{\Delta L}{L}.$$

Digitized by Google

En regardant tour à tour deux des quantités D, Y et L comme constantes, on reconnaît, au moyen de cette équation, que pour de petites augmentations de la charge ou de petites diminutions relatives de la longueur de la conduite, les augmentations relatives du débit sont moitié moindres. Augmenter la charge ou diminuer la longueur de $1/20^{me}$, c'est augmenter le produit de $1/40^{me}$. Il est donc inutile, quand la charge est considérable, quand la conduite est longue, de faire de grandes dépenses pour augmenter la charge ou pour diminuer la longueur de la conduite. L'influence relative du diamètre sur le produit de la conduite est beaucoup plus considérable (5 fois) que celle de la longueur et de la charge. C'est la dimension qui joue le rôle le plus important; toute altération de cette dimension a une influence d'autant plus grande que le diamètre est plus petit. Si, par suite de son encrassement, une conduite de $0^m,20$ a perdu $0^m,01$ de son diamètre, elle perdra $\frac{5}{2} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{8}$ de son débit; la conduite de $0^m,08$ de diamètre perdra $\frac{5}{2} \times \frac{1}{8} = \frac{5}{16}$, près du tiers de son produit. Ainsi l'on voit, par la formule (11), que si une conduite débite 100 litres, en doublant la charge elle en débitera 140, en la quadruplant elle en débitera 200; en doublant le diamètre elle débitera 560 litres, en le quadruplant, 3,200 litres.

L'influence du diamètre sur la perte de charge est encore plus considérable, puisqu'elle est proportionnelle à D^5; en doublant le diamètre, le produit est à peine sextuple, tandis que la perte de charge devient 32 fois plus petite.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

CONDUITES COMPLEXES A DIAMÈTRE VARIABLE. — DÉBIT A L'EXTRÉMITÉ PAR UN OU PLUSIEURS ORIFICES.

50. Il arrive souvent que le diamètre d'une conduite est variable, que sa longueur totale L se décompose en longueurs partielles l, l', l''..., ayant des diamètres différents d, d', d''... Dans cette circonstance, il est aussi facile de déterminer la ligne de charge et le produit de la conduite à l'extrémité, que dans le cas du diamètre unique. On a en effet (fig. 19) :

$$CC' = \gamma q^2 \frac{l}{d^5},\ DD' = \gamma q^2 \frac{l}{d^5} + \gamma q^2 \frac{l'}{d'^5},\ EE' = \gamma q^2 \frac{l''}{d''^5}, \ldots$$

Ces équations déterminent la ligne de charge BC'D'E'...FG; mais si l'on ne cherche que la perte de charge à l'extrémité, on aura :

$$KF \text{ ou } Y = \gamma q^2 \left(\frac{l}{d^5} + \frac{l'}{d'^5} + \frac{l''}{d''^5} \ldots\right);$$

en comparant cette valeur de Y à celle qu'on trouve dans le cas du diamètre uniforme (7), on voit que la quantité $\frac{L}{D^5}$ est remplacée par la somme $\frac{l}{d^5} + \frac{l'}{d'^5} + \frac{l''}{d''^5} \ldots$ Donc, un certain diamètre moyen δ déduit de l'équation :

$$\frac{L}{\delta^5} = \frac{l}{d^5} + \frac{l'}{d'^5} + \frac{l''}{d''^5} \ldots \qquad (13)$$

donnerait à l'extrémité de la conduite la même perte de charge et le même produit que le diamètre variable, mais avec la ligne de charge BF différente; la ligne de charge réelle se composant d'un polygone dont les côtés sont d'autant plus inclinés que les diamètres des longueurs partielles sont plus petits.

On remarquera qu'une conduite formée de plusieurs tuyaux de divers diamètres porte à l'extrémité le même débit, quel que soit l'ordre dans lequel se trouvent ces tuyaux. Il va sans dire que la formule précédente n'est applicable qu'autant que les pertes de charge qui ont lieu

Digitized by Google

par suite des changements de diamètre sont négligeables, et que le diamètre δ' de l'orifice extrême est tel que $32\frac{\delta^5}{L\delta'^5}$ peut être aussi négligé par rapport à 1 (voir l'équation 12). En supposant ces conditions remplies, on voit qu'il est toujours facile de calculer le diamètre équivalent d'une conduite à diamètre variable. Les tables placées à la fin de cet ouvrage donnent les valeurs de d correspondantes à d^5 et à $\frac{1}{d^5}$, ce qui abrége beaucoup les calculs numériques.

51. Au lieu du diamètre équivalent d'une conduite de même longueur, on pourrait chercher la longueur λ de celle qui aurait le même débit avec un diamètre quelconque δ; on aurait alors :

$$\frac{\lambda}{\delta^5}=\frac{l}{d^5}+\frac{l'}{d'^5}+\frac{l''}{d''^5}\cdots, \qquad (14)$$

équation dans laquelle on pourrait se donner δ. Si l'on faisait, par exemple, $\delta=d$, on aurait :

$$\lambda=l+l'\frac{d^5}{d'^5}+l''\frac{d^5}{d''^5}\cdots$$

Diminuer ou augmenter le diamètre dans une partie l', l''... de la conduite, revient donc à allonger ou à raccourcir cette partie dans le rapport des 5mes puissances des diamètres; diminuer de moitié le diamètre d'une partie de conduite, c'est en multiplier la longueur par 32; le doubler, c'est la réduire à la 32me partie.

L'équation précédente fait voir que λ est toujours plus grand que l; le produit d'une conduite à diamètre variable est donc toujours plus petit que ne le serait le produit d'une des longueurs partielles. On se rend facilement compte de ce résultat, en remarquant que, quelque faible que soit la perte de charge dans les autres parties de la conduite, elle n'est jamais nulle, et que, par conséquent, la conduite totale débitera toujours moins que la longueur partielle.

Ainsi, la conduite du pont de la Tournelle, de 4800^m de longueur et de 0^m,25 de diamètre, étant devenue insuffisante, a été remplacée par une autre d'un diamètre de 0^m,50. Quand on eut terminé ce travail sur moitié de la longueur, il est évident que le résultat était moins avantageux que si l'on avait pu réduire la longueur de moitié, ce qui n'aurait augmenté le produit que dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$; car cette substitution n'avait réduit la longueur sur laquelle elle a été opérée qu'à la 32me partie de ce qu'elle

Digitized by Google

était, les 2400^m convertis comptant encore pour 75^m. La substitution du diamètre de 0^m,50 au diamètre de 0^{m}25 sur la moitié correspondait à une réduction de longueur de (2400 — 75) = 2325. Ainsi, la première moitié de la dépense du projet n'augmentait le débit que dans le rapport de 1 à 1,40, tandis que la seconde l'a porté de 1^m,40 à 5^m,60.

On voit par là que quand une conduite se trouve étranglée par un petit diamètre sur une assez grande étendue, le produit de l'extrémité est pour ainsi dire déterminé par cette portion de conduite. Ainsi, dans l'exemple dont nous nous occupions tout à l'heure, d'une conduite ayant 0^m,50 dans la moitié de sa longueur et 0^m,25 dans l'autre, il est pour ainsi dire inutile, dans le calcul du débit, de s'occuper de la partie de la conduite ayant 0^m,50; à plus forte raison si ce diamètre était encore plus considérable. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

52. Dans une distribution d'eau, il arrive presque toujours que plusieurs conduites sont mises en communication entre elles par d'autres conduites transversales; on obtient ainsi une conduite complexe dont il faut pouvoir calculer le produit.

On y arrivera facilement par la méthode de calcul suivante :

Considérons d'abord une série de conduites sortant toutes du réservoir AB, et venant se réunir en O dans une conduite commune OM (fig. 20). Soient $d, d', d''\ldots, l, l', l''\ldots, q, q', q''\ldots$ les diamètres, les longueurs et les produits de ces conduites, δ, λ, Q le diamètre, la longueur et le produit du tuyau qui pourrait les remplacer toutes, on aura, en remarquant que la perte de charge y de toutes ces conduites, depuis le réservoir AB jusqu'en O, est la même :

$$Q=\sqrt{\frac{y\delta^5}{\gamma\lambda}},\quad q=\sqrt{\frac{yd^5}{\gamma l}},\quad q'=\sqrt{\frac{yd'^5}{\gamma l'}},\ldots$$

et puisque
$$Q=q+q'+q''\ldots=\sqrt{\frac{y\delta^5}{\gamma\lambda}},$$

$$\sqrt{\frac{\delta^5}{\lambda}}=\sqrt{\frac{d^5}{l}}+\sqrt{\frac{d'^5}{l'}}+\sqrt{\frac{d''^5}{l''}}+\ldots, \qquad (15)$$

en prenant pour λ une longueur quelconque, on en déduira une valeur de δ. (Voir l'Appendice, pour la manière de faire les calculs numériques.)

Si toutes les longueurs $l, l', l''\ldots$ sont égales et qu'on prenne pour λ cette longueur, on aura la formule plus simple :

$$\sqrt{\delta^5}=\sqrt{d^5}+\sqrt{d'^5}+\sqrt{d''^5}\ldots \qquad (16)$$

Digitized by Google

qui donne le moyen de remplacer plusieurs conduites de même longueur par une seule ou réciproquement, problème que la table résout à simple vue. Ainsi, on y voit de suite qu'une conduite de $0^m,25$ peut remplacer dix conduites de $0^m,10$ ou deux conduites de $0^m,19$, etc., etc.

La formule (16) peut même être substituée à la formule (15), toutes les fois que les longueurs de conduite ne sont pas très-différentes, en prenant pour λ une valeur moyenne entre les longueurs l, l', l''... On a en effet :

$$\sqrt{d^5}=\sqrt{\frac{\lambda}{l}}\sqrt{d^5}+\sqrt{\frac{\lambda}{l'}}\sqrt{d'^5}+\sqrt{\frac{\lambda}{l'}}\sqrt{d''^5}\ldots$$

Or, si λ est une moyenne entre les quantités l, l', l'',... les rapports $\frac{\lambda}{l}$, $\frac{\lambda}{l'}$... sont tour à tour plus petits et plus grands que 1 ; de plus, ils en diffèrent peu, si les longueurs l, l', l'',... sont peu différentes, et leur racine carrée en diffère encore moins ; en substituant donc l'unité à chacun de ces facteurs, on ne commettra que de petites erreurs, qui étant tantôt en plus et tantôt en moins n'en produiront jamais qu'une insignifiante sur le résultat. La formule (16) pourra donc être très-souvent substituée dans la pratique à la formule (15), on n'aura besoin d'avoir recours à cette dernière que lorsque les conduites seront de longueurs très-différentes.

53. Les formules (14) et (15) sont indépendantes du coefficient γ, par conséquent on peut supposer qu'on lui ait donné la valeur numérique la plus convenable pour les vitesses qui avaient lieu dans les conduites. Ces formules seraient donc applicables, même dans les cas exceptionnels où il serait indispensable d'avoir recours, pour le calcul du débit, à la formule binôme de M. de Prony. En voici d'ailleurs une démonstration directe.

Soit une conduite à diamètres variables (fig. 19) d, d', d''..., λ la longueur, et δ le diamètre constant du tuyau qui peut la remplacer; on aura, en appelant v la vitesse dans cette conduite :

$$\frac{1}{4}Y=\frac{\lambda}{\delta}(\alpha v+\beta v^2)=\frac{l}{d}(\alpha u+\beta u^2)+\frac{l'}{d'}(\alpha u'+\beta u'^2)+\ldots$$

Mais on a : $\frac{1}{4}\pi\delta^2 v=\frac{1}{4}\pi d^2 u=\frac{1}{4}\pi d'^2 u'=\frac{1}{4}\pi d''u''^2\ldots;$

donc $$\frac{\lambda}{\delta^5}=\frac{l}{d^5}\left(\frac{\alpha\frac{d^2}{\delta^2}+\beta v}{\alpha+\beta v}\right)+\frac{l'}{d'^5}\left(\frac{\alpha\frac{d'^2}{\delta^2}+\beta v}{\alpha+\beta v}\right)+\ldots$$

Digitized by Google

Les facteurs de $\frac{l}{d^5}$, $\frac{l'}{d'^5}$ diffèrent très-peu de l'unité, même lorsque v est très-petit; de plus, si on a pris pour λ la somme des longueurs $l+l'+l''+\ldots$, δ est nécessairement un diamètre intermédiaire entre le plus grand et le plus petit; de sorte que les rapports $\frac{d^2}{\delta^2}$, $\frac{d'^2}{\delta^2}$, étant tour à tour plus grands et plus petits que l'unité, les petites erreurs commises sur chaque terme se compenseront sensiblement. On pourra donc, même avec la formule binôme, écrire :

$$\frac{\lambda}{\delta^5}=\frac{l}{d^5}+\frac{l'}{d'^5}+\frac{l''}{d''^5}+\ldots \qquad (14)$$

Lorsqu'il s'agit de trouver une conduite ayant le même produit que plusieurs autres, on a :

$$vd^2=ud^2+u'd'^2+u''d''^2\ldots,$$

d'où

$$\delta^2=\frac{u}{v}d^2+\frac{u'}{v}d'^2+\frac{u''}{v}d''\ldots$$

Or, de

$$\frac{1}{4}Y\frac{\delta}{\lambda}=\alpha v+\beta v^2,\ \frac{1}{4}Y\frac{d}{l}=\alpha u+\beta u^2,\ldots$$

on tire :

$$\frac{u}{v}=\sqrt{\frac{\lambda d}{l\delta}}\sqrt{\frac{1+\frac{\alpha}{\beta v}}{1+\frac{\alpha}{\beta u}}},\ \frac{u'}{v}=\sqrt{\frac{\lambda d'}{l'\delta}}\sqrt{\frac{1+\frac{\alpha}{\beta v}}{1+\frac{\alpha}{\beta u'}}}\ldots$$

ce qui donne :

$$\sqrt{\frac{\delta^5}{\lambda}}=\sqrt{\frac{d^5}{l}}\sqrt{\frac{1+\frac{\alpha}{\beta v}}{1+\frac{\alpha}{\beta u}}}+\sqrt{\frac{d'^5}{l'}}\sqrt{\frac{1+\frac{\alpha}{\beta v}}{1+\frac{\alpha}{\beta u'}}}+\ldots$$

Les facteurs de la forme $\sqrt{\frac{1+\frac{\alpha}{\beta v}}{1+\frac{\alpha}{\beta u}}}$ sont alternativement un peu plus grands et un peu plus petits que l'unité; puisque v est la vitesse moyenne, ils ne peuvent en différer sensiblement qu'autant que les quantités $\sqrt{\frac{d^5}{l}}$ qu'ils multiplient sont elles-mêmes très-petites et sans influence appréciable sur le résultat.

En confondant ces facteurs avec l'unité, on ne commettra donc, sur chaque terme, que des erreurs très-légères et qui se compenseront à

Digitized by Google

peu près dans leur somme. Ainsi, même dans le cas de la formule binôme, on peut se servir de l'équation (15).

54. Une conséquence pratique très-importante de cette formule, c'est que, pour conduire une certaine quantité d'eau à un point donné, le parti le plus économique est toujours de le faire au moyen d'un seul tuyau. En effet, c'est un résultat d'expérience qui sera expliqué plus loin, que le prix du mètre courant de tuyau mis en place est proportionnel au diamètre. La dépense à faire pour une conduite unique du diamètre δ sera donc $L\mu\delta$ (pour Paris actuellement $\mu = 100$ fr. environ); pour deux conduites du diamètre d, elle sera $2L\mu d$; mais on a :

$$\sqrt{\delta^5} = \sqrt{d^5} + \sqrt{d^5} = 2\sqrt{d^5},$$

ou

$$d = \frac{\delta}{\sqrt[5]{4}};$$

donc la dépense sera : $\mu L\delta \frac{2}{\sqrt[5]{4}} = \mu L\delta \sqrt[5]{8}$;

pour trois conduites on aurait de même $\mu L\delta \frac{3}{\sqrt[5]{9}} = \mu L\delta \sqrt[5]{27}$;

pour un nombre n de conduites.. . . . $\mu L\delta n^{\frac{3}{5}}$.

Représentons la dépense $\mu L\delta$ pour une conduite par	100
Elle sera pour deux conduites débitant le même volume. . . .	152
pour trois conduites.	193
pour quatre conduites.	230
. . . . .	

D'autres considérations que l'économie peuvent déterminer à multiplier le nombre des conduites; mais il est toujours essentiel de se rendre compte de la dépense qui résulte de chacun des systèmes de distribution. Nous ferons plus tard usage de ces formules et de ces résultats.

55. Les formules (14) et (15) permettent de ramener au même diamètre tous les tronçons d'une conduite complexe à diamètre variable, et de réunir entre eux ceux de ces tronçons qui ont la même perte de charge entre leurs extrémités, ce qui, dans beaucoup de cas, permet de convertir un système très-complexe en une conduite simple à diamètre constant.

Si l'on avait, par exemple, le système de conduite représenté par la fig. 21, on commencerait par ramener au même diamètre la conduite variable AM au moyen de la formule 14; puis on la réunirait à la conduite

Digitized by Google

BM par la formule (15) ou (16); on ramènerait ensuite à un diamètre commun les conduites ABM′ et CM′ par la formule (14), et on les réunirait par la formule (15); on ferait la même opération pour les conduites au-dessous de M′, et on arriverait à n'avoir plus qu'une conduite unique. Ce n'est qu'une affaire de calcul, qui se trouve considérablement abrégée par les tables que nous avons dressées. Si l'on voulait avoir ce que débite chacun des orifices, on déterminerait la charge en M′ et M″, ce qui ramènerait le problème au cas d'une conduite unique.

Il ne faudrait pas croire qu'on pût opérer la même simplification sur toute conduite complexe. Il faut pour cela des conditions qui ne se trouvent pas toujours réunies, même dans les conduites les plus simples. On peut, il est vrai, ramener tous les tronçons d'une conduite quelconque à avoir même diamètre; mais pour les réunir par la formule 15, il faut que la perte de charge entre leurs extrémités soit la même. Ainsi, si dans la fig. 21, les réservoirs A, B, C n'étaient pas au même niveau, les tronçons AM, BM, CM′, ne pourraient pas être réunis. De même, si les orifices O, O′, O″ n'étaient pas au même niveau, les tronçons M′O, M″O′, M″O″, ne pourraient être convertis, par les formules précédentes, en tronçon unique équivalent.

56. Nous allons nous occuper de ces systèmes de conduite; mais, comme on vient de le voir, il nous sera permis de supposer que le diamètre est constant, sans restreindre la généralité du problème.

Considérons le cas d'une conduite complexe pouvant dégorger par deux orifices O et O′ de niveau différent (fig. 22). Le plus bas des orifices O est nécessairement un orifice de sortie; mais il n'est pas aussi facile de reconnaître immédiatement le rôle que joue l'orifice intermédiaire O′; car, suivant son niveau relatif et suivant le point où il est embranché, il peut être : orifice d'entrée, orifice de sortie, ou enfin rester stationnaire.

Soient : H la charge sur l'orifice O par rapport au réservoir AB,
H′ la charge sur l'orifice O′...
l, l', l'' les longueurs des diverses portions de conduite,
q, q', q'' leurs débits.

Traçons la ligne AO, qui serait la ligne de charge dans le cas où l'orifice O′ serait fermé, et qui détermine, par conséquent, la charge MP sur l'embranchement de cet orifice. Menons maintenant l'horizontale F′p corres-

Digitized by Google

pondant au niveau du réservoir O'; il est clair que si le point p est au-dessous de P, l'eau dans le branchement l' ira vers l'orifice O'; que si elle est au-dessus, elle en viendra; que si ces deux points coïncident, l'eau restera stationnaire. Ce qui revient à dire que pour $H' = \frac{lH}{l+l'}$ l'eau est stationnaire [1]; que pour $H' < \frac{lH}{l+l'}$ l'eau va vers O'; que pour $H' > \frac{lH}{l+l'}$ elle en vient. Le sens du mouvement dépend des 4 quantités H', H, l, l'; mais il ne dépend pas de la longueur l' du branchement. Ainsi H et H' conservant leurs valeurs, l'eau serait stationnaire si le branchement était transporté de M en M', et, s'il venait en M'', elle sortirait du réservoir F'.

On a, d'ailleurs, pour déterminer les débits q, q', q'', dans le cas de la fig. 22, les trois équations suivantes :

$$\left.\begin{aligned} H &= \frac{\gamma l q^2}{d^5} + \frac{\gamma l' q'^2}{d^5} \\ H' &= \frac{\gamma l q^2}{d^5} + \frac{\gamma l'' q''^2}{d^5} \\ q &= q' + q'' \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

En appelant y la perte de charge NC, qui a lieu sur le point d'embranchement, cette dernière équation peut se mettre sous la forme :

$$\sqrt{\frac{y}{l}} = \sqrt{\frac{H'-y}{l'}} + \sqrt{\frac{H-y}{l''}},$$

qui fait voir que la valeur de y est indépendante du diamètre de la conduite et du coefficient γ. De sorte que, quel que soit le diamètre, le rapport entre les débits des diverses portions de conduite est constant.

La résolution numérique de l'équation précédente ne présente aucune difficulté, puisqu'elle n'est que du second degré; cependant le calcul en est assez long, et on ferait mieux dans la pratique de procéder par tâtonnement sur les équations (17), d'autant plus qu'on peut déterminer immédiatement, pour q et q'', des valeurs comprises entre des limites très-resserrées, ainsi que nous allons le faire voir.

[1] Il ne faut pas perdre de vue que nous confondons toujours les longueurs réelles des conduites avec celles de leurs projections horizontales; et que dans les figures qui représentent leur nivellement, les dimensions verticales sont toujours très-exagérées par rapport aux dimensions horizontales.

Digitized by Google

Appelons Q″ le débit $\sqrt{\frac{Hd^5}{\gamma(l+l')}}$ de la conduite, lorsque l'orifice O′ est fermé, la première des équations (17) pourra se mettre sous la forme :

$$Q''^2(l+l'')=lq^2+l''q''^2;$$

mettant dans cette équation, pour q, sa valeur $q'+q''$, on en déduit :

$$q''=\sqrt{Q''^2-\frac{ll''}{(l+l'')^2}q'^2}-\frac{l}{l+l''}q'.$$

La fraction $\frac{ll''}{(l+l'')^2}$ est toujours plus petite que $\frac{1}{4}$, de sorte que si nous supposons q' petit par rapport à Q″, ce qui aura lieu lorsque le point p ne sera pas éloigné de P, on pourra écrire :

$$q''=Q''-\frac{l}{l+l''}q',$$

et, puisque $q=q'+q''$, (18)

$$q=Q''+\frac{l''}{l+l''}q'.$$

On tire de ces équations une conséquence pratique importante : c'est que lorsqu'une conduite débite Q″ à son extrémité, si l'on fait une prise q' sur un point de cette conduite, le produit de l'extrémité ne diminue pas de q', mais du $\frac{1}{3}$, du $\frac{1}{4}$,... de cette quantité, suivant que cette prise est faite au $\frac{1}{3}$ ou au $\frac{1}{4}$... de la conduite à partir du réservoir. Le produit de la partie antérieure augmente des $\frac{2}{3}$, des $\frac{3}{4}$... du débit nouveau.

Pour résoudre le problème numériquement, il suffit de remarquer que, puisque le point c est compris entre P et p, on a nécessairement :

$$q<\sqrt{\frac{H'd^5}{\gamma l}},\quad q''>\sqrt{\frac{(H-H')d^5}{\gamma l''}};$$

et, puisque $q'=q-q''$, on a :

$$q'<\sqrt{\frac{H'd^5}{\gamma l}}-\sqrt{\frac{(H-H')d^5}{\gamma l''}}.$$

En se servant de cette valeur approchée de q', on en conclura une première position du point c qui permettra de calculer de nouvelles valeurs pour q et q'', et d'en déduire, par le même procédé, des valeurs de q' alter-

Digitized by Google

nativement trop petites et trop grandes. On arrivera donc ainsi à des chiffres aussi exacts qu'on le voudra. (Voir à l'Appendice un exemple numérique de ce calcul.)

Dans les exemples précédents, nous avons supposé que l'orifice le plus bas était celui qui débitait le plus; de sorte que, dans la fig. 22, la ligne de charge AP'F' est supérieure à la ligne APF; mais cela peut bien ne pas être. Ainsi, dans la fig. 23, le point P' est au-dessous du point P, et par conséquent, il faudra chercher le point c entre p et P'. Du reste, la marche du calcul est la même.

57. Nous avons supposé aussi que l'orifice O'' était un orifice de sortie; si le branchement avait lieu en M'' (fig. 22), et qu'il fût un orifice d'entrée, il suffirait de remplacer dans les formules précédentes l'', q'' par l, q, et l, q par l'', q'', et de prendre pour H' la différence de niveau H — H' entre les deux réservoirs. Ce qui revient à dire que, si l'on fait faire une demi-révolution à un système de conduites, les débits et les vitesses ne changent pas d'intensité; il n'y a de changé que le sens du mouvement. Il est donc inutile de chercher des formules spéciales pour ce cas, qui rentre complétement dans celui que nous venons de considérer.

Si le point p est très-éloigné de P et de P', c'est que deux orifices se trouvent à des niveaux peu différents. En les supposant au même niveau, ce qui permet de ramener la conduite complexe à une conduite simple, on a de suite deux limites rapprochées de la valeur de q, en mettant tour à tour dans le calcul le niveau le plus élevé et le niveau le plus bas.

Si la différence de niveau est très-faible, il n'y a, pour ainsi dire, plus lieu à tâtonnement; car les valeurs sont si peu différentes entre elles, que, dans la pratique, on pourra les confondre.

Nous trouvons dans les tables lithographiées de M. Mary un problème de ce genre. Il s'agit d'une conduite unique alimentée par deux autres, puisant à des réservoirs dont la différence de niveau n'est que de $0^m,50$, de sorte que la charge sur l'orifice de sortie est 17^m pour un réservoir, et $17^m,50$ pour l'autre. En ramenant la conduite au même diamètre, comme si les réservoirs étaient au même niveau, on obtiendrait deux limites de débit, l'une plus grande, l'autre plus petite, dont le rapport serait $\sqrt{\frac{17,50}{17}} = \frac{1014}{1000}$; c'est-à-dire que, pratiquement, il n'y a pas lieu à tâtonnement. Faute d'une formule qui lui permette de ramener la conduite au

Digitized by Google

même diamètre, M. Mary est obligé de partir de deux limites très-éloignées 235° et 435°.

58. Nous avons vu que le débit maximum d'une conduite, pour un orifice situé à une distance L, était $\sqrt{\frac{Hd^5}{\gamma L}}$; il arrive souvent dans les distributions que ce débit, très-suffisant comme débit journalier, ne l'est pas comme débit momentané. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un établissemeut de bains consommant 50^m par jour, il est clair qu'une conduite donnant un litre par seconde serait suffisante pour la consommation journalière, puisqu'elle donnerait plus de $86^{m.c.}$ par jour; mais elle ne le serait pas dans le moment où on voudrait remplir à la fois plusieurs baignoires ou plusieurs chaudières; on remédie à cet inconvénient par l'établissement d'un réservoir près de l'orifice. Ce réservoir s'emplit pendant le chômage des robinets, et leur permet de débiter de grandes masses d'eau à la fois.

Si H' et l' sont les distances verticale et horizontale du robinet au nouveau réservoir (fig. 24), on a :

$$q=\sqrt{\frac{Hd^5}{\gamma l}}+\sqrt{\frac{H'd^5}{\gamma l'}}.$$

On voit que si l' est très-petit, le débit par seconde peut être très-considérable.

Les réservoirs constituent aussi une excellente précaution contre les incendies, et c'est pour cela que tous les établissements publics et industriels en sont pourvus. Supposons, par exemple, qu'un incendie se déclare dans un quartier où la conduite ne peut amener que 20 litres par seconde; c'est en vain que, pour augmenter la masse d'eau disponible, on ouvrira tous les orifices branchés aux environs; ils ne feront jamais que se partager la quantité d'eau amenée par la conduite; il pourra même arriver que ce partage se fasse d'une manière très-vicieuse, en donnant plus d'eau aux points les plus éloignés, tandis que les points voisins en manqueront; c'est ce qui arrive quelquefois à Paris et fait croire à un manque d'eau dans les réservoirs alimentaires, tandis qu'il n'y a qu'une fausse manœuvre de robinets. Un autre avantage de cette disposition, c'est de ne pas faire souffrir les établissements munis de réservoirs d'une courte interruption de service, par suite de réparations sur les conduites d'alimentation. C'est dans ce but

Digitized by Google

que la distribution, dans ces établissements, se fait presque toujours au moyen de branchements spéciaux pris sur leurs réservoirs particuliers. Ces réservoirs sont alimentés par une conduite, que ferme un clapet lorsque l'eau cesse d'y arriver, ou plus ordinairement par une conduite qui dégorge dans leur partie supérieure, auquel cas les robinets sont desservis par un ou plusieurs branchements partant de ces réservoirs.

Nous verrons plus tard que les grands réservoirs publics jouent un rôle analogue dans les distributions, qu'ils augmentent la puissance des conduites ou permettent de réduire leurs diamètres. On a donc souvent à considérer le cas d'un orifice alimenté par deux réservoirs éloignés.

59. Supposons une conduite terminée à ses deux extrémités par deux réservoirs dont la différence de niveau est H′, et un orifice O situé sur cette conduite à une distance verticale Z du niveau du réservoir supérieur (fig. 25). Si cet orifice est fermé, le réservoir AB enverra au réservoir FG une quantité d'eau $Q' = \sqrt{\frac{H'd^5}{\gamma(l+l')}}$, et la ligne de charge sur la conduite sera BF. Si l'orifice intermédiaire O débite une petite quantité q'', le réservoir FG ne recevra plus que (voir l'équation 17) :

$$q' = Q' - \frac{l}{l+l'} q''.$$

Enfin, si $q'' = \sqrt{\frac{H'd^5}{\gamma l}} = Q' \sqrt{\frac{l+l'}{l}} = S$, le réservoir FG ne recevra plus rien, et la ligne de charge sera BpF, pF étant l'horizontale passant par le niveau du réservoir FG. Tels sont les résultats précédemment démontrés.

Si q'' dépasse la quantité S, les deux réservoirs fournissent, et on a, pour déterminer les débits des deux portions de conduite et la charge H sur l'orifice O, les trois équations suivantes :

$$H = \frac{\gamma l q^2}{d^5}, \quad H - H' = \frac{\gamma l' q'^2}{d^5}, \quad q'' = q + q'.$$

Si de la 1re équation on retranche la seconde, il vient :

$$\frac{H'd^5}{\gamma} = lq^2 - l'q'^2;$$

mais $\frac{H'd^5}{\gamma} = lS^2$, donc $\qquad q = \sqrt{S^2 + \frac{l'}{l} q'^2}.$

On voit que tant que q' est petit par rapport à S, q demeure à peu près invariable et égal à S; c'est-à-dire que toute l'augmentation de débit de

Digitized by Google

l'orifice O est fournie par le réservoir qui, précédemment, était stationnaire. Il est facile de se rendre compte de ce résultat en se rappelant que les débits sont proportionnels à la racine carrée des charges; que, par conséquent, lorsque ces charges sont considérables, les débits varient peu, même pour des augmentations sensibles de charge.

On peut d'ailleurs avoir des valeurs exactes de q' et de q'', puisque l'équation n'est que du second degré. On a toujours :

$$\frac{q}{q'} = \sqrt{\frac{l'H}{l(H-H')}};$$

Lorsque H est très-grand par rapport à H', les débits des deux portions de conduites sont dans le rapport inverse de $\sqrt{l}$ à $\sqrt{l'}$.

60. Les fontaines de la place de la Concorde, à Paris, fournissent un exemple remarquable de cette espèce de débit représenté par la fig. 25; elles sont branchées vers le milieu d'une conduite qui se rend du réservoir Monceaux au réservoir Vaugirard. Lorsque la conduite est libre, les deux réservoirs fournissent, ce qui indique que la perte de charge depuis Monceaux jusqu'à la place de la Concorde est plus grande que 5^m, différence de niveau entre les deux réservoirs. Le réservoir Vaugirard fournit alors aux fontaines la partie de leur dépense qui excède celle qui a lieu lorsque la perte de charge n'est que de 5^m. Comme le réservoir Vaugirard n'a pas de moyen d'alimentation direct, et qu'il importe de réserver l'eau qui s'y est accumulée pendant la nuit pour les besoins de la rive gauche, lorsque les fontaines sont en jeu, on ferme la conduite du côté du réservoir Vaugirard. Le résultat de cette manœuvre n'est pas de diminuer la dépense des fontaines; en ouvrant davantage les régulateurs on obtient la même quantité d'eau, mais cette eau ne sort plus avec la même impétuosité, et si, au lieu d'une fontaine, on avait un jet d'eau, sa hauteur serait sensiblement diminuée. En un mot, il se fait alors une grande perte de charge du côté de Monceaux; la ligne de charge, qui était Bp'F lorsque la conduite était libre, devient la ligne discontinue Bp'', pF. (Nous supposons qu'il n'y a d'autre débit sur la conduite que celui des fontaines.)

61. Le cas général d'une conduite ayant un nombre indéterminé d'orifices d'entrée et de sortie ne peut se résoudre que par tâtonnement, à cause du degré de l'équation finale; car on a autant d'équations du 2e degré que d'orifices moins un. En effet, si l'on considère le débit de chaque orifice comme connu, on en déduit immédiatement celui de chaque tronçon

Digitized by Google

de conduite, et en marchant de l'orifice le plus élevé à un orifice quelconque, on obtient une équation de la forme

$$H_n = \frac{\gamma l q^2}{d^5} + \frac{\gamma l' q'^2}{d'^5} + \ldots,$$

dans laquelle H_n indique la charge sur l'orifice; on aura donc autant d'équations que d'orifices, et le problème est ramené à une simple difficulté d'analyse. Dans la pratique, une pareille complication ne peut guère se présenter; mais si on la rencontrait, il faudrait avoir recours à des tâtonnements. Nous croyons que les calculs que nous avons faits jusqu'à présent, que les formules et les principes que nous avons établis, les abrégeront beaucoup, en permettant d'introduire immédiatement dans les formules des chiffres très-voisins de la vérité. Si le sens du mouvement se trouvait indécis dans une portion de conduite, il faudrait poser le problème comme si l'orifice était fermé, et déterminer ainsi la charge sur l'origine du branchement; suivant que l'orifice sera au-dessus ou au-dessous de la charge sur le branchement, l'eau en viendra ou ira vers lui. Nous ne nous arrêterons pas davantage sur ce cas général, qui ne peut être considéré que comme une spéculation théorique. Nous traiterons, dans le chapitre suivant, des cas particuliers que présentent les distributions d'eau les plus compliquées.

62. Dans les formules précédentes, nous n'avons tenu compte que de la résistance engendrée par le frottement à la paroi; mais lorsqu'une conduite a une certaine longueur, le mouvement de l'eau rencontre : des coudes, des tubulures, des robinets, etc., etc. Dans l'état actuel de la science, on sait peu de choses sur les forces retardatrices développées par ces obstacles; on sait seulement qu'elles sont fonction de la vitesse et croissent avec elle, car elles n'arrêtent jamais le mouvement de l'eau d'une manière complète. Quel que soit le nombre des coudes et des étranglements, il y a mouvement si un des orifices de la conduite est plus bas que l'autre. Par analogie avec ce qui se passe pour la paroi, on peut supposer ces forces retardatrices proportionnelles au carré de la vitesse, et écrire, en représentant par k, k', k''... la perte de charge qui correspond à la vitesse 1^m :

$$H = \gamma \frac{LQ^2}{D^5} + kv^2 + k'v^2 \ldots = \gamma \frac{LQ^2}{D^5} + \frac{16Q^2}{\pi^2 D^4}(k + k' \ldots);$$

d'où, en mettant pour π et γ leurs valeurs,

Digitized by Google

$$H = \frac{\pi Q^2}{D^5} \left(L + 640 D (k + k' + k'' \ldots)\right)$$

Cette équation démontre que l'effet de ces forces retardatrices correspond à un allongement du tuyau. M. Mary, dans ses tables, a fait plusieurs applications numériques des formules de Dubuat sur les coudes ; ses résultats par coude ne dépassent pas une perte de charge de $0^m,002$ pour des vitesses de $0^m,58$ à $0^m,60$, ce qui donnerait pour la vitesse $1^m, k = 0,006$, et, pour la longueur du tuyau qui produirait la même perte de charge que le coude, $640\,Dk = 3,84\,D$; soit 4D. Cette quantité est réellement trop petite pour qu'il puisse être utile d'en tenir compte dans la pratique, et surtout de se livrer à aucune espèce de calcul pour l'apprécier. Nous avons déjà appris par la formule (7) que la longueur L doit être, en général, augmentée de 32D. Il conviendra donc d'ajouter à la longueur réelle de la conduite une certaine quantité proportionnelle à son diamètre, et on pourra profiter de cette circonstance pour arrondir le chiffre de cette dimension, ce qui abrégera les calculs.

Nous avons fait quelques expériences pour déterminer l'influence du changement brusque de direction des conduites ; en faisant passer de l'eau à diverses vitesses dans une conduite qui présentait quatre inflexions à angle droit, jamais nous n'avons trouvé sur le manomètre que l'une d'elles donnât une perte de charge égale à celle du parcours de 2^m. Il est vrai que la conduite n'avait que $0^m,08$ de diamètre. Quoi qu'il en soit, ces expériences nous ont convaincu que la découverte d'une formule qui donnerait exactement l'influence des angles dans les conduites ne saurait avoir beaucoup d'utilité pratique.

Nous n'avons donc présenté les considérations qui précèdent que pour démontrer qu'il est inutile de faire des calculs spéciaux au sujet des résistances autres que celle qui résulte du frottement à la paroi. On peut en tirer aussi cette conséquence, que l'avantage d'avoir une conduite plus ou moins rectiligne est de peu d'importance, et qu'il ne faut jamais faire de grands sacrifices pour l'obtenir. Il va sans dire qu'il ne faut pas multiplier sans nécessité les coudes et les sinuosités; mais quand ils sont motivés par l'état des lieux, et qu'on ne pourrait les faire disparaître qu'avec de grandes dépenses, il faut s'y résigner. La moindre augmentation du diamètre de la conduite dans cette partie ferait plus que compenser la perte de charge due à ces circonstances.

Digitized by Google

63. Nous parlons ici de la direction en plan de la conduite. Dans le sens vertical, les coudes qui présentent leur convexité vers le ciel ont un inconvénient plus grand. L'air peut en occuper le sommet, y produire un étranglement, par conséquent une augmentation de vitesse et une forte perte de charge ; l'écoulement peut même être complétement suspendu. En effet, si l'on suppose la disposition de tuyau indiquée par la fig. (26), il est évident qu'il n'y aura pas écoulement si l'air contenu dans la conduite maintient la surface de l'eau dans les branchements à des hauteurs telles qu'on ait :

$$ab = a'b' - \mathrm{H} \text{ ou } ab = c'b'.$$

La pression de l'air dans la conduite sera alors mesurée par $\mathrm{H}_a + ab$.

Si l'on imagine qu'en d on donne graduellement issue à l'air, les points b et b' s'élèveront de quantités égales, et l'écoulement commencera quand le point b se sera élevé en c, niveau du faîte de la conduite ; mais il est évident qu'il peut être aussi petit que possible, puisque la charge, qui produira le débit en c, peut elle-même être aussi petite qu'on voudra. L'eau pourra alors couler sur la partie inférieure du tuyau le long de ce. On voit que le débit en O′ peut être complétement modifié par les coudes verticaux. Il faut donc, dans la pratique, les éviter autant que possible, ainsi que les parties horizontales, parce que le moindre tassement des extrémités peut amener une convexité.

Lorsque la disposition des lieux ne permet pas de donner à la conduite un profil concave, on y remédie en plaçant sur le sommet des convexités, ou des branchements d'orifice habituellement ouverts, ou des ventouses qui laissent échapper l'air sans laisser échapper l'eau. On trouvera plus loin la description de ces appareils.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

DU SERVICE EN ROUTE, SIMPLE OU MIXTE (ISOLÉ OU COMBINÉ AVEC UN SERVICE D'EXTRÉMITÉ).

64. Les conduites ne sont pas uniquement destinées à porter l'eau à leur extrémité. Le plus ordinairement même, de nombreux branchements la distribuent à droite et à gauche à des niveaux différents. Rigoureusement parlant, une conduite avec ses branchements ne forme qu'une conduite complexe, faisant un service d'extrémité, cas que nous avons traité dans le chapitre précédent; mais, à ce point de vue général, il n'est pas facile de découvrir les propriétés du système. Tandis qu'en considérant une conduite unique percée de nombreux orifices dans son parcours, cas qui se présente dans toutes les distributions d'eau, on met de suite en évidence des propriétés importantes de ce mode d'alimentation.

65. Soit donc la conduite représentée par la figure 27, percée des orifices 1, 2, 3, 4;

Soient : q_1, q_2, q_3, q_4 les débits de ces orifices;
l, l', l'' les longueurs partielles de la conduite.

La ligne de charge A*pqrs*G se déterminera facilement. En effet, on aura :

$$ap = \frac{\gamma l}{d^5}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)^2, \quad bq = ap + \frac{\gamma l'}{d^5}(q_2 + q_3 + q_4)^2$$

$$cr = ap + bp + \frac{\gamma l''}{d^5}(q_3 + q_4)^2.$$

Si le diamètre de la conduite est constant, il est facile de saisir le caractère principal du polygone qui représente la ligne de charge, c'est que chacun de ses côtés est, à partir du réservoir, de moins en moins incliné. Cela se conçoit parfaitement, car la perte de charge par mètre ou l'inclinaison de la ligne de charge est proportionnelle au carré du débit de la conduite. Or, le débit de chaque portion de conduite va sans cesse en diminuant depuis l'origine jusqu'à l'extrémité.

Si le diamètre de la conduite est variable, l'inclinaison de chacun des côtés n'est plus assujettie à d'autre condition que d'avoir lieu dans le sens

Digitized by Google

de la vitesse de l'eau dans la conduite. De sorte qu'on peut toujours déterminer le diamètre variable de manière à avoir une ligne de charge donnée, pourvu qu'elle satisfasse à cette condition et à celle de passer par le point A. Si on voulait, par exemple, que la ligne de charge fût la ligne droite AG, comme dans le cas du débit à l'extrémité, les quantités ap', bq',... seraient connues, on aurait :

$$ap' = \frac{lH}{L} = \frac{\gamma l(q_1+q_2+q_3+q_4)^2}{d^5};$$

d'où
$$d' = \sqrt[5]{\frac{\gamma L}{H}(q_1+q_2+q_3+q_4)^2};$$

on aurait de même pour le diamètre suivant :

$$d'' = \sqrt[5]{\frac{\gamma L}{H}(q_2+q_3+q_4)^2};$$

ainsi de suite.

On voit que la détermination du diamètre, lorsqu'on connaît le débit et la charge, ne présente aucune difficulté. Or, c'est là le problème pratique de toute distribution d'eau, qui consiste à conduire à un point donné de hauteur et de position une quantité d'eau déterminée, avec le moins de dépense possible.

Cependant, dans la pratique il règne une certaine incertitude sur les quantités d'eau qui pourront être distribuées au moyen des conduites. On désire qu'elles puissent satisfaire, non-seulement aux besoins immédiats, mais au besoin d'un avenir prochain. Or, ces besoins croissent d'une manière inconnue, il est vrai, mais assez rapide; presque toutes les anciennes distributions, après avoir été surabondantes, deviennent insuffisantes; cela tient à plusieurs causes. Lorsqu'on fait une distribution d'eau dans une ville, elle ne se substitue pas immédiatement à tous les moyens antérieurs d'alimentation, la puissance de l'habitude, les dépenses faites dans chaque maison pour avoir des puits ou des pompes, s'opposent à ce que le propriétaire en fasse de nouvelles pour se brancher sur la conduite publique qui passe devant sa maison. Mais, avec le temps, ces considérations disparaissent, la pompe et le puits ont besoin d'être réparés, on veut que sa maison soit comme celle du voisin, de nouvelles maisons se bâtissent, etc., etc.; de sorte que les besoins à satisfaire au bout de quelques années ne sont plus ceux qui existaient à l'origine. Lors donc que l'ingé-

Digitized by Google

nieur projette une conduite dans le quartier d'une ville, il doit supposer qu'elle aura à débiter pour le service particulier une certaine quantité d'eau q par mètre courant; quantité d'ailleurs variable suivant la densité de la population et suivant ses besoins.

66. Il est donc essentiel de se rendre compte des phénomènes du mouvement de l'eau dans le système de distribution uniforme, qui est pour ainsi dire le type de tous les autres systèmes.

Soit $q=\frac{Q}{L}$ le débit par mètre courant de la conduite représentée par la fig. 28, celui d'une longueur x, comptée à partir de O, orifice extrême de la conduite, sera $qx=\frac{Q}{L}x$; et par conséquent la perte de charge dy, pour une longueur dx de la conduite,

$$dy=\gamma\frac{Q^2}{D^5L^2}x^2dx; \qquad (19)$$

en intégrant cette équation depuis 0 jusqu'à l'extrémité de la conduite, on aura, en appelant H la charge, sur l'orifice extrême :

$$H=\frac{1}{3}\gamma\frac{Q^2L}{D^5}. \qquad (20)$$

En comparant cette perte de charge avec celle qui a lieu lorsque le débit Q est situé à l'extrémité L de la conduite, on en tire les conséquences suivantes :

Lorsque le débit d'une conduite, au lieu de se faire à l'extrémité, est uniformément distribué le long de son parcours,

1° La perte de charge est trois fois moins forte, à égalité de débit, de diamètre et de longueur;

2° Le débit est $\sqrt{3}$ ou 1,73 fois plus fort, à égalité de charge, de diamètre et de longueur;

3° Le diamètre n'est que le $\frac{1}{\sqrt[5]{3}}$, les 0,80, ou les $\frac{4}{5}$ de ce qu'il devrait être pour un débit égal à l'extrémité de la conduite. Nous tirerons plus tard de ces principes plusieurs conséquences pratiques, mais auparavant il est bon de voir ce que devient la ligne de charge.

Si au lieu d'intégrer l'équation (19) entre 0 et L, on intègre entre 0 et x, en appelant y l'ordonnée de la ligne des pressions, on aura :

Digitized by Google

$$y = \frac{1}{3}\gamma\frac{Q^2}{L^2D^2}x^3,$$

ou

$$y = H\frac{x^3}{L^3}; \qquad (21)$$

c'est une parabole du 3me degré, branche positive. Cette espèce de parabole diffère de celle du second degré, qui passerait par le même point B, en ce qu'elle est plus aplatie sur la tangente à l'origine et lui est extérieure, la surface du segment parabolique étant les $\frac{3}{4}$ du rectangle xy au lieu des $\frac{2}{3}$. Le tracé de cette courbe n'offre aucune difficulté. Si l'on faisait $x = \frac{1}{2}L$, on aurait $y = \frac{1}{8}H$, $x = \frac{3}{4}L$, $y = \frac{27}{64}H$, etc. On peut d'ailleurs se servir de l'équation $\frac{dy}{dx} = \frac{3y}{x}$, qui donnera en chaque point l'inclinaison de la tangente; ainsi pour l'inclinaison à l'origine de l'orifice, on a $\frac{dy}{dx} = \frac{3H}{L}$, qui serait l'inclinaison de la ligne de charge dans le cas où le débit aurait lieu à l'extrémité.

La forme de cette courbe se trouve expliquée par ce que nous avons dit tout à l'heure au sujet de l'inclinaison des côtés du polygone; elle tient à ce que, près du réservoir, la vitesse de l'eau est très-grande et est presque nulle à l'extrémité. On a dû remarquer une certaine analogie entre les lignes de charge et les polygones funiculaires chargés de poids, entre la parabole de charge, dans le cas de la distribution uniforme, et la parabole des chaînes des ponts suspendus. Dans ce dernier cas, on a une parabole du deuxième degré, parce que la tension est proportionnelle à la première puissance du poids, tandis que, pour les tuyaux, les pertes de charge étant proportionnelles à la deuxième puissance du débit, le degré de la parabole se trouve augmenté d'une unité. Cette analogie de deux théories qui, au premier aspect, n'ont rien de commun, se continue beaucoup plus loin, comme on va le voir dans la suite de ce chapitre.

67. Si, outre le produit Q, débité uniformément le long de la conduite, il y a encore à l'extrémité un débit P, ce cas rentre dans le précédent, en imaginant que ce produit P soit débité par un prolongement x de la conduite égal à $l\frac{P}{Q}$. Alors, tout se passe comme dans le cas précédent; on obtient la valeur de H sur le sommet de la courbe (fig. 29) en remplaçant, dans l'équation (20), Q par Q + P, et L par $l + l\frac{P}{Q}$; il vient ainsi :

Digitized by Google

$$H = \frac{1}{3}\gamma\frac{(Q+P)^3 l}{QD^5},$$

et pour l'équation de la courbe rapportée à l'extrémité de son prolongement :

$$y = \frac{1}{3}\gamma\frac{Q^2}{l^2 D^5}x^3,$$

équation conforme à (21), ce qui doit être, puisque l'ordonnée y de la courbe n'est fonction que du débit par mètre ; il faut observer seulement que, dans cette dernière équation, l exprime la longueur réelle de la conduite, et non la distance du sommet de la courbe au réservoir. On arriverait, du reste, directement à cette équation, en partant de la valeur générale de dy, que nous avons donnée plus haut.

La perte de charge h, à l'extrémité de la conduite, sera donnée par la valeur de y correspondant à $x = l\frac{P}{Q}$ retranché de H ; on aura donc :

$$h = \frac{1}{3}\frac{\gamma l}{D^5}\frac{(Q+P)^3}{Q} - \frac{1}{3}\frac{\gamma L}{D^5}\frac{P^3}{Q},$$

ou

$$h = \frac{1}{3}\frac{\gamma l}{D^5}(Q^2 + 3QP + 3P^2), \qquad (22)$$

ou enfin

$$h = \frac{1}{3}\frac{\gamma l}{D^5}Q^2 + \frac{\gamma l}{D^5}P^2 + \frac{\gamma l}{D^5}QP; \qquad (23)$$

c'est-à-dire que la perte de charge, pour un tuyau qui débite Q en route et P à son extrémité, est égale à la somme des pertes de charge dues à ces deux causes si elles étaient isolées, augmentée de la perte de charge due à un débit d'extrémité $\sqrt{QP}$, moyenne proportionnelle entre le débit en route et le débit P à l'extrémité.

68. Par la formule (22) on peut donc déterminer le diamètre, la perte de charge ou les débits, absolument comme dans le cas du débit à l'extrémité ; mais, pour la pratique, on peut lui substituer une formule beaucoup plus commode, surtout lorsque ce sont les débits qui sont inconnus.

Soit $R = \sqrt{\frac{hD^5}{\gamma l}}$ la quantité d'eau que le tuyau peut débiter à son extrémité, avec la charge h, quand il ne fait pas de service en route, nous aurons :

$$3R^2 = Q^2 + 3QP + 3P^2; \qquad (24)$$

d'où

$$P = \sqrt{R^2 - \frac{1}{12}Q^2} - \frac{1}{2}Q.$$

Digitized by Google

Si Q est petit par rapport à R, on a :

$$P = R - \frac{1}{2} Q,$$

c'est-à-dire que le débit de l'extrémité perd la moitié du débit en route. Si l'on rapproche ce résultat de ce que nous avons dit plus haut au sujet de l'effet du débit d'un orifice intermédiaire, qui enlève au débit d'extrémité une quantité proportionnelle à sa distance à l'origine, on voit que le débit en route correspond à un débit d'orifice situé au milieu de la conduite. Mais cette assimilation ne peut être faite que lorsque Q est très-petit ; car si l'on fait débiter en route une quantité $Q = R\sqrt{3}$, on a $P = 0$, tandis que, pour avoir le même résultat avec un orifice situé à moitié, on devait avoir $Q = R\sqrt{2}$. Nous savions déjà, du reste, que pour $Q = R\sqrt{3}$, le débit à l'extrémité est nul.

De la formule (24) on tire :

$$R > P + \frac{1}{2} Q \text{ ou } P + 0{,}50\, Q,$$

$$R < P + \frac{1}{3}\sqrt{3}\, Q \text{ ou } P + 0{,}576\, Q.$$

Dans les applications numériques, on peut donc substituer à l'équation (22) la formule approchée,

$$h = \frac{l}{D^5}\gamma(P + 0{,}55\, Q)^2, \qquad (25)$$

c'est-à-dire que le débit en route peut être ajouté au débit d'extrémité, en ne le comptant que pour un peu plus de la moitié de sa valeur réelle. Le calcul se fait alors aussi simplement que lorsqu'il ne s'agit que d'un débit d'extrémité ; car la quantité $Q + 0{,}55P$ se comporte comme la quantité Q dans la formule générale relative à ce débit.

Dans les applications numériques, suivant que P, Q ou R seront connus, on aura :

$$\begin{aligned} R &= P + 0{,}55\, Q, \\ P &= R - 0{,}55\, Q, \\ Q &= 1{,}82\,(R - P). \end{aligned} \qquad (26)$$

Quoique par la formule (25) le débit en route soit ramené au cas du débit d'extrémité, il ne faudrait pas en conclure que les formules du diamètre moyen relatives à ce dernier débit sont applicables au service en route. Ainsi la conduite à diamètre variable que représente la fig. 19

Digitized by Google

ne saurait être remplacée, en vertu des formules (13), (14), (15), par une conduite à diamètre constant produisant la même perte de charge à l'extrémité. En effet, chaque portion de conduite a alors un débit différent, et il suffirait de changer sa position relative pour produire un changement dans la perte de charge finale. Il y a toujours cependant une conduite à diamètre constant qui remplit cette condition, mais seulement pour des débits partiels et un débit total déterminé.

Le calcul n'offre d'ailleurs d'autre difficulté que sa longueur. On calculerait d'abord la ligne de charge pour chaque tronçon de conduite d'après les formules précédentes, puisque chacun de ces tronçons rentrerait nécessairement dans le cas général d'un débit en route et d'un débit à l'extrémité, puis, ayant trouvé la perte de charge totale H, on aurait :

$$H = \frac{1}{3}\gamma\frac{LQ^2}{\delta^5},$$

équation qui déterminerait δ, comme dans le cas du débit à l'extrémité. Ce diamètre moyen donnerait la même perte de charge sur l'orifice extrême ; mais la branche de parabole qui serait la ligne de charge de cette conduite moyenne ne serait pas celle de la conduite à diamètre variable, et de plus le diamètre moyen devrait changer avec le débit ; d'où il suit que la recherche de ce diamètre, dans le cas du service en route, ne peut guère trouver d'application dans la pratique.

Nous savons donc déterminer le diamètre d'une conduite de manière à ce qu'elle puisse distribuer en route une quantité d'eau donnée ; son diamètre n'est plus que les 0,80 de ce qu'il est pour le même débit à l'extrémité. Mais cela ne suffit pas, il faut que la ligne de charge passe au-dessus de tous les orifices à desservir ; or, cette dernière condition peut entraîner l'ingénieur à faire varier le diamètre de manière à avoir un polygone tout à fait différent de celui qui serait donné par la parabole du troisième degré. Il est donc utile de chercher la relation qui existe entre la ligne de charge et la variation du diamètre dans la conduite.

69. Si la ligne de charge est donnée par son équation $y = F(x)$, la courbe des diamètres le sera par :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\gamma Q^2}{L^2}\frac{x^2}{d^5}, \qquad (19)$$

équation dans laquelle on mettra pour $\frac{dy}{dx}$ sa valeur tirée de $y = Fx$, et

Digitized by Google

où d sera considéré comme variable; si, au contraire, la courbe des diamètres est donnée par son équation $d = f(x)$, la ligne de charge se déduira de l'intégration de l'équation (19), après y avoir mis pour d sa valeur en x. Ce problème ne présente donc aucune difficulté.

Si, par exemple, nous prenons pour ligne de charge une parabole du degré m, dont l'équation sera :

$$y = \mathrm{H}\frac{x^m}{\mathrm{L}^m}, \tag{27}$$

nous obtiendrons celle de la courbe des diamètres en différentiant la valeur de y, et écrivant :

$$m\frac{\mathrm{H}x^{m-1}}{\mathrm{L}^{m-1}} = \frac{\gamma \mathrm{Q}^2}{d^5},$$

ou

$$d^5 = \frac{\gamma \mathrm{Q}^2}{\mathrm{H}}\,\frac{\mathrm{L}^{m-1}}{mx^{m-1}}. \tag{28}$$

Si l'on appelle : D le diamètre pour $x = \mathrm{L}$, c'est-à-dire à l'origine de la conduite,

Δ le diamètre constant qui donne le même débit et la même perte de charge à l'extrémité $= \sqrt[5]{\frac{\gamma \mathrm{L} \mathrm{Q}^2}{\mathrm{H}}}$;

δ le diamètre constant du tuyau qui coûterait la même somme que la conduite à diamètre variable $= \int_0^{\mathrm{L}} \frac{\mu d}{\mathrm{L}} dx$;

on tirera facilement de l'équation précédente :

$$\mathrm{D} = \left(\frac{1}{m}\right)^{\frac{1}{5}}\Delta, \quad \delta = \left(\frac{5}{8-m}\right)\mathrm{D} = \left(\frac{5}{8-m}\right)\left(\frac{1}{m}\right)^{\frac{1}{5}}\Delta, \tag{29}$$

et l'équation de la courbe des diamètres pourra se mettre sous la forme :

$$d = \mathrm{D}\left(\frac{x}{\mathrm{L}}\right)^{\frac{3-m}{5}} = \left(\frac{1}{m}\right)^{\frac{1}{5}}\Delta\left(\frac{x}{\mathrm{L}}\right)^{\frac{3-m}{5}}; \tag{30}$$

si $m = 3$, $\qquad \mathrm{D}^5 = \frac{1}{3}\Delta^5, \; d = \mathrm{D} = \delta;$

résultats connus, puisque nous avons fait voir que le diamètre constant donne pour ligne de charge une parabole du troisième degré. Réciproquement $d = \mathrm{D}$, donnerait $m = 3$, par l'intégration de l'équation (19).

70. Le diamètre moyen δ est, comme nous l'avons dit, proportionnel à

Digitized by Google

la dépense ; si l'on veut qu'elle soit un minimum, on différentiera l'équation (29) par rapport à m, et on trouvera $m = \frac{4}{3}$, ce qui donne :

pour ligne de charge. . . . . $y = H\left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{4}{3}}$, (31)

pour ligne des diamètres. . . $d = D\left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{5}} \Delta \left(\frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{3}}$, (32)

pour diamètre à l'extrémité. . $D = \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{5}} \Delta = 0{,}944\Delta$; (33)

pour diamètre moyen. . . . . $\delta = \frac{3}{4} D = 0{,}708\Delta$ [1]. (34)

Le diamètre de la conduite à débit uniforme doit donc suivre les ordonnées d'une parabole du troisième degré, pour donner le minimum de dépense. Nous avons déjà indiqué les caractères de cette courbe qui est aussi la ligne de charge dans le diamètre uniforme; nous avons vu qu'elle est très-aplatie à son sommet, c'est-à-dire que, le diamètre à l'extrémité étant donné, il n'est réduit à moins de moitié que sur un 1/8 de la conduite (fig. 30). Ce tuyau est d'ailleurs plus gros à son extrémité dans le rapport de 0,94 à 0,80 que celui à diamètre uniforme. Nous reviendrons tout à l'heure sur les conséquences pratiques à déduire de ces résultats.

Si nous considérons l'équation de la ligne de charge (31), nous voyons

[1] Ces équations sont plus générales qu'il ne serait permis de le supposer d'après l'hypothèse dont on est parti, c'est-à-dire que la ligne de charge est une parabole du degré m. En considérant cette courbe comme complétement indéterminée, la dépense est représentée par :

$$\int_0^L \mu d d x;$$

le problème à résoudre est de trouver la fonction d en x, de manière que cette intégrale soit un minimum avec la condition :

$$\int_0^L \frac{\mu Q^2}{L^2} \frac{x^2}{d^m} dx = H;$$

or, on trouve, par les règles du calcul des variations :

$$x = C d^m.$$

La parabole du troisième degré est donc de toutes les courbes du diamètre celle qui donne le minimum de dépense.

Digitized by Google

que c'est une parabole du degré $\frac{4}{3}$, par conséquent très-voisine de la droite AO, qui représente la perte de charge dans le cas du débit d'extrémité (fig. 30).

71. Si l'on voulait que la perte de charge fût cette ligne elle-même, il suffirait de faire $m = 1$ dans les équations (30) et (29), on aurait :

$$\Delta = D, \quad d^5 = D^5 \frac{x^2}{L^2}, \quad \delta = \frac{5}{7} D = \frac{5}{7} \Delta = 0{,}714 \Delta.$$

La parabole des diamètres, qui était du troisième degré dans le cas du minimum des dépenses, devient du degré $\frac{5}{2}$ dans le cas de la perte de charge uniforme. Le diamètre D à l'origine de la conduite est précisément égal à ce qu'il doit être pour donner tout le débit à l'extrémité. Quant au diamètre moyen, il ne dépasse pas sensiblement celui qui donne le minimum de dépense, puisqu'on a seulement $0{,}714\Delta$ au lieu de $0{,}708\,\Delta$. Cela doit être, puisque $\frac{5}{2}$ ne diffère pas beaucoup de 3.

Si l'on faisait décroître le diamètre de la conduite plus rapidement que les ordonnées de la parabole du degré $\frac{5}{2}$, par exemple, suivant celles de la parabole du deuxième degré, ce qui reviendrait à poser $\frac{5}{3-m} = 2$, ou $m = \frac{1}{2}$, l'équation de la courbe des pressions (27) deviendrait :

$$\frac{L}{H} y^2 = x;$$

c'est une parabole du second degré, ayant comme celle des diamètres, son axe horizontal. On aurait dans ce cas :

$$D = \Delta \sqrt[5]{2} = 1{,}15\Delta, \quad \delta = \frac{2}{5} \sqrt[5]{2} = 0{,}77\Delta.$$

Cette disposition est un peu plus dispendieuse que la précédente, mais elle l'est moins encore que celle du diamètre uniforme et elle donne beaucoup plus de charge, surtout vers le milieu de la conduite.

Si l'on donnait au tuyau une forme conique, de manière que les diamètres des deux extrémités fussent D et d', on trouverait, en suivant la même méthode de calcul [1] et en appelant n le rapport $\frac{d'}{D}$:

[1] L'équation de la ligne des diamètres est dans ce cas :

$$= \left(\frac{D-d'}{L}\right) x + d';$$

Digitized by Google

$$H=\frac{\gamma Q^2 L(D+3d')}{12d'^2D^4},\quad D=\left(\frac{1+3n}{12n^2}\right)^{\frac{1}{5}}\Delta,\quad \delta=\left(\frac{1+n}{2}\right)\left(\frac{1+3n}{12n^2}\right)^{\frac{1}{5}}\Delta;$$

et en cherchant la valeur de n qui donne pour δ et pour la dépense un minimum, on aurait :

$$n=\frac{1}{6}\sqrt{6}=0{,}408,$$

d'où l'on tirerait : $D=1{,}02\Delta$, $d'=0{,}42\Delta$, $\delta=0{,}72\Delta$.

On voit qu'on peut obtenir avec un tuyau conique un diamètre moyen qui ne diffère pas sensiblement de celui du minimum de dépense. Quant à la courbe de charge horizontale à l'origine O, elle a un point d'inflexion à la distance $x=4\left(\frac{d}{3(D-d')}\right)$, ou $x=0{,}234$ dans le cas du minimum de dépense; en A son inclinaison est $\frac{H}{L}\frac{D^5}{\Delta^5}$, c'est-à-dire que dans le cas du minimum de dépense, elle se confond à peu près avec la ligne AO; plus loin elle aurait une asymptote horizontale; ce qui se conçoit parfaitement, puisque le diamètre du tuyau irait en augmentant indéfiniment.

Nous ne pousserons pas plus loin l'étude de l'influence de la variation du diamètre sur les dépenses d'établissement des conduites et sur les lignes de charge. Nous avons seulement voulu faire voir que le principal résultat de cette variation était d'élever ou d'abaisser la ligne de charge, de manière qu'on pouvait ainsi desservir des orifices ermédiaires plus ou moins élevés, avec des dépenses sensiblement égales.

72. En résumé, lorsqu'on a un produit Q à débiter uniformément le long d'une conduite avec une perte de charge H, en appelant Δ le diamètre $\sqrt[5]{\frac{\gamma Q^2 L}{H}}$ nécessaire pour obtenir ce produit à l'extrémité, les différents systèmes de conduite auxquels on peut s'arrêter donnent les résultats suivants :

on en déduit, au moyen de l'équation (19) :

$$dy=\frac{\gamma Q^2}{L^2}\frac{x^2dx}{\left(\frac{D-d'}{L}x+d'\right)^5}.$$

Maintenant, si l'on intègre, en déterminant la constante de façon que $y=o$ corresponde à $x=o$, et que dans l'intégrale on fasse $x=L$, $y=H$, on obtient la première des trois équations ci-dessus.

Digitized by Google

Le diamètre constant qui satisfait à cette condition est 0,80 Δ; par conséquent, le diamètre moyen, proportionnel à la dépense, est. . . . . 0,80 Δ

Dans ce cas, la courbe des pressions est une parabole du troisième degré très-aplatie à son sommet; la perte de charge se fait presque tout entière près du réservoir.

Si l'on a recours à une variation du diamètre, il faut, pour obtenir le minimum de dépense, le faire décroître suivant les ordonnées d'une parabole du troisième degré. Le diamètre, à l'origine de la conduite, est alors $0^m,944$ Δ, et le diamètre moyen. . . . . 0,708 Δ

Dans ce cas, la courbe des pressions est une parabole du degré $\frac{4}{3}$, qui se rapproche beaucoup de la ligne droite qui exprime la perte de charge uniforme.

La conduite à diamètre variable qui donne cette ligne droite pour ligne de charge se trouve déterminée par une parabole du degré $\frac{5}{2}$. Le plus grand diamètre est Δ, et le diamètre moyen.. . . . . 0,714 Δ

Dans un tuyau conique, le minimum de dépense est donné par le diamètre $1^m,02$ Δ à l'origine et $0^m,42$ Δ à l'extrémité; le diamètre moyen proportionnel à la dépense moyenne est alors. . . . . 0,72 Δ

La courbe des pressions est horizontale au-dessus du petit diamètre et a une asymptote horizontale, en supposant le cône prolongé du côté du grand diamètre, de sorte qu'il y a un point d'inflexion intermédiaire.

Si l'on fait varier le diamètre comme les ordonnées d'une parabole du deuxième degré, on a pour diamètre à l'origine $1^m,15$ Δ, et pour diamètre moyen. . . . . 0,77 Δ

Dans ce cas, la courbe des pressions est une parabole du deuxième degré, concave vers le tuyau et, par conséquent, bien au-dessus de la ligne qui exprime la perte de charge uniforme.

Il n'est peut-être pas inutile de faire observer que cette proportion entre les dépenses des divers systèmes n'est vraie que pour le cas où la conduite débite en route *d'une manière uniforme* tout ce qu'elle tire du réservoir.

73. S'il s'agissait d'une conduite devant débiter Q en route et P à son extrémité, ce qui est le cas ordinaire d'application, le diamètre le plus économique serait encore donné par la parabole du troisième degré; mais si le produit P à l'extrémité était considérable, on n'utiliserait que la partie de cette parabole éloignée de l'origine, c'est-à-dire celle dont le diamètre est à peu près constant. Dans ce cas, l'avantage qu'on peut

Digitized by Google

trouver à faire varier le diamètre est donc toujours au-dessous de celui que nous venons d'indiquer plus haut [1].

Les calculs qui précèdent ont beaucoup moins pour but de fournir des formules d'un usage pratique que d'indiquer d'une manière générale les avantages et les inconvénients des divers systèmes qu'on pourrait adopter, et de faire voir que, même au point de vue théorique, on ne saurait espérer d'économie bien sensible au moyen de dispositions compliquées. Ajoutons que dans la pratique, par des motifs que nous ferons connaître plus loin, on ne peut faire varier les diamètres que d'une manière discontinue et suivant un système arrêté d'avance. On serait donc forcément obligé de substituer à la courbe des diamètres un polygone formé par la série des tuyaux admis dans la distribution. Ainsi, les tuyaux de $0^m,40$ de diamètre seraient suivis par une certaine longueur de conduite ou $0^m,35$, laquelle serait elle-même continuée par des tuyaux de $0^m,30$, etc., etc.; de plus, entre chaque espèce de tuyaux, il en faudrait un spécial pour raccord; il serait donc impossible de réaliser pratiquement l'économie de 1/8 qui résulte du tableau précédent.

Etant donnée une série de tuyaux, il serait facile de déterminer, par des calculs analogues à ceux que nous venons de faire, les longueurs à employer de chacun d'eux pour avoir le minimum de dépense; mais nous croyons que lorsqu'on voudra dans la pratique faire décroître les

[1] On peut démontrer ce résultat par le calcul.

Soit l la longueur de la conduite; pour avoir la courbe des diamètres, il suffira de faire $L=l+l\frac{P}{Q}$ dans l'équation (32), $d^5=\frac{D^5}{L}\varpi$, de sorte qu'en faisant dans cette équation $L=l\frac{P}{Q}$, on aura pour le petit diamètre $D'=D\sqrt[5]{\frac{P}{P+Q}}$. D étant toujours le gros diamètre. On voit que si P est grand par rapport à Q, D' ne diffère pas beaucoup de D. La différence du diamètre moyen avec le diamètre uniforme serait encore plus petite. Rien ne serait si facile, du reste, que de déterminer D : il suffirait de substituer, dans les formules (31), (32), (33), (34), aux quantités L et Q, $l+l\frac{P}{Q}$ et Q+P, de déterminer la perte de charge H à l'extrémité. On arriverait ainsi à :

$$D^5=\frac{3}{4}\Delta^5=\frac{3}{4}\frac{\gamma L}{hQ}\left\{(Q+P)^5-P^5\left(l+\frac{P}{Q}\right)^{\frac{5}{5}}\right\},$$

valeur qui présente beaucoup d'analogie avec celle du diamètre uniforme (voir 22). Mais il ne peut être que très-rarement avantageux de recourir à cette formule, puisque la variation du diamètre ne saurait amener qu'une économie insignifiante dans l'établissement d'une conduite placée dans ces conditions.

Digitized by Google

diamètres, les courbes que nous venons de donner suffiront pour servir de type au système de décroissement.

Le diamètre constant a sur le diamètre variable un avantage dont il faut tenir compte. Si la fonction principale d'une conduite est de distribuer de l'eau dans son parcours, il peut arriver qu'on lui demande exceptionnellement un service d'extrémité, comme on le verra dans le chapitre suivant. Or, la conduite à diamètre variable, qui se termine par des tuyaux de plus en plus petits, ne peut faire qu'un service d'extrémité complétement insignifiant, si, comme l'indiquerait la loi du minimum de dépense, les derniers tuyaux sont très-petits. Pour une conduite conique ayant à ses extrémités des diamètres D et d, le débit à l'extrémité serait

$$Q^2 = \frac{4H}{\gamma L} \frac{D^4 d^4}{(D^2+d^2)(D+d)}.$$

Soit $q = \sqrt{\frac{Hd^5}{\gamma L}}$ le produit de la conduite dans le cas où elle aurait partout son plus petit diamètre, cette expression devient :

$$Q = 2q \sqrt{\frac{D}{d\left(1+\frac{d^2}{D^2}\right)\left(1+\frac{d}{D}\right)}}.$$

Supposons que, pour avoir le minimum de dépense, on ait fait le rapport $\frac{d}{D} = 0,40$, on aura $Q = 2,50\,q$. Or, si l'on avait un diamètre uniforme, il faudrait, d'après ce que nous avons vu plus haut, qu'il fût de $2d$; le produit serait donc de $Q = 5,60\,q$, c'est-à-dire de plus du double de celui du tuyau conique.

Ce que nous venons de dire s'applique au cas d'une distribution uniforme; il est clair que si le débit devait être considérable à l'origine et presque nul à l'extrémité, cela pourrait parfaitement motiver une diminution graduelle du diamètre; mais, comme nous l'avons déjà dit, le cas d'une distribution uniforme est celui qu'on rencontre le plus fréquemment, celui qui représente le mieux, sinon la distribution actuelle, du moins la distribution future; c'est, pour ainsi dire, le type auquel tous les projets doivent se rattacher.

On remarquera, du reste, que les formules que nous avons données dans ce chapitre résolvent, d'une manière aussi générale que possible, le problème de la détermination du diamètre d'une conduite qui doit faire en route et à l'extrémité un service quelconque.

Digitized by Google

Rien n'empêche, en effet, de diviser la conduite en plusieurs parties dans lesquelles elle fera, avec une perte de charge connue, un service en route uniforme et un service d'extrémité, et alors on déterminera le diamètre de chacune de ces portions de conduite, soit par la formule exacte (22), soit par la formule approchée (25).

74. Dans les distributions d'eau, les orifices ne sont pas desservis directement par les conduites maîtresses, mais par l'intermédiaire de branchements quelquefois fort longs. Il est clair qu'il faut tenir compte de la perte de charge qui a lieu dans ces branchements. Alors les diamètres de la conduite et du branchement se trouvent indéterminés. Si, par exemple, la perte de charge depuis l'origine de la conduite jusqu'à l'extrémité du branchement doit être de 8 mètres, on peut prendre une perte de charge quelconque h pour la conduite principale, et il en résultera une perte de charge $8-h$ pour le branchement. A chaque valeur de h correspondront un diamètre D pour la conduite principale, et un diamètre D′ pour le branchement. Le système de perte de charge qui donnera le minimum de dépense sera donné par le minimum de l'expression

$$lD + lD',$$

avec la condition, $$h + h' = H.$$

Soient : P, Q les quantités d'eau débitées par la conduite principale, à son extrémité et en route;

$f(P, Q)$ la fonction de ces quantités qui détermine la perte de charge, exactement par l'équation (22), ou approximativement par l'équation (25);

P', Q', $f(P', Q')$ les quantités analogues pour le branchement.

En mettant dans l'expression de la dépense, pour D et D′, leurs valeurs :

$$D^5 = \frac{f(P, Q)l}{h}, \quad D'^5 = \frac{f(P', Q')l'}{h'},$$

et les différentiant par rapport à h et h', il vient :

$$\frac{h}{h'} = \frac{l}{l'} \frac{f(P, Q)^{\frac{1}{5}}}{f(P', Q')^{\frac{1}{5}}}.$$

Cette équation, combinée avec $h + h' = H$, déterminera h et h'. Cela ne présente aucune difficulté, et nous ne nous arrêterions pas davantage sur ce sujet, si l'on ne pouvait déduire de cette formule des règles simples et

Digitized by Google

importantes pour la pratique. Si, dans l'équation précédente, on remplace $f(P, Q)$, $f'(P', Q')$ par leurs valeurs en D et D'; si, de plus, on remarque que ces fonctions sont proportionnelles soit à P^2, soit à Q^2, soit à $(P+0,55Q)^2$, pour le service d'extrémité, pour le service en route et pour le service mixte, on en conclura que le rapport $\frac{f(P, Q)}{f(P', Q')}$ ne différera jamais sensiblement de $\frac{Q^2}{Q'^2}$, en considérant Q et Q' comme le débit total des conduites. On aura donc, en posant $\frac{h}{l}$, perte de charge par mètre, $=i$:

$$\frac{i}{i'}=\frac{D'}{D}=\frac{Q'^{\frac{1}{3}}}{Q^{\frac{1}{3}}}=\frac{Q'^{\frac{5}{15}}}{Q^{\frac{5}{15}}}. \qquad (35)$$

Ces équations démontrent que les diamètres et les pertes de charge par mètre doivent être dans le rapport des racines cubiques des débits; que, par conséquent, quand le débit du branchement ne diffère pas beaucoup de celui de la conduite principale, les pertes de charge par mètre et les diamètres sont sensiblement égaux.

Supposons que $Q=2Q'$, on aura $i=1,26\,i'$, $D=1,26\,D'$. Si la conduite principale avait un diamètre de $0^m,40$, le branchement devrait avoir $0^m,32$. Pour $Q=8Q'$, on aurait $D=2D'$; pour $Q=27Q'$, $D=3D'$.

Si l'on avait pris les pertes de charge par mètre égales sur le branchement et sur la conduite, on aurait eu :

$$i=i',\ \frac{D}{D'}=\frac{Q^{\frac{1}{5}}}{Q'^{\frac{2}{5}}}=\frac{Q^{\frac{6}{15}}}{Q'^{\frac{6}{15}}}; \qquad (36)$$

et pour $Q=2Q'$, $D=1,60\,D'$, au lieu de $1,26\,D'$,
$Q=8Q'$, $D=2,30\,D'$, au lieu de $2,00\,D'$,
$Q=27Q'$, $D=3,74\,D'$, au lieu de $3,00\,D'$.

En comparant les équations (35) et (36), on voit que la condition du minimum de dépense tend à égaliser les diamètres et à faire varier les pertes de charge. On en concevra facilement la raison, si l'on se rappelle ce que nous avons dit plus haut, au sujet de l'influence du diamètre sur la charge. On a vu (n° 49) que pour diminuer la perte de charge, il faut augmenter le diamètre d'une quantité proportionnelle, et qu'on a la relation :

$$\frac{dY}{Y}=-5\frac{dD}{D}.$$

c'est-à-dire qu'en augmentant le diamètre d'un 10me, on diminue la charge

Digitized by Google

de moitié. Or, lorsque les tuyaux sont inégaux, il en coûte nécessairement beaucoup moins d'augmenter proportionnellement le plus petit.

Ainsi, supposons la longueur du branchement égale à celle de la conduite, admettons même perte de charge h sur l'un et sur l'autre, et qu'on soit arrivé à résoudre le problème avec une conduite de $0^m,40$ et un branchement de $0^m,10$. Si l'on augmente le diamètre du branchement de $0^m,02$, la perte de charge sur ce branchement deviendra $h\left(\frac{0,10}{0,12}\right)^6 = 0,40h$; et le diamètre de la conduite sera $D = \frac{0,40}{(1,60)^{\frac{1}{5}}} = 0,36$.

La dépense, qui était représentée par $10+40$, ou 50 dans le premier système, le serait par $12+36$, ou 48 dans le second.

75. *Règle générale.* — Quand les orifices de sujétion sont situés sur des branchements qui, ayant peu de débit, doivent avoir peu de diamètre, la perte de charge sur ces branchements doit toujours être sensiblement plus petite que sur la ligne maîtresse. Nous parlons ici des orifices de sujétion, car il faut distinguer avec soin ces orifices de tous les autres, dont le niveau est pour ainsi dire indifférent. Imaginons qu'on ait projeté sur un plan vertical, à leur hauteur réelle, tous les orifices qui doivent être alimentés par une conduite (fig. 31); si du réservoir supérieur, comme centre, nous faisons tourner l'horizontale BC, jusqu'à ce qu'elle rencontre un orifice m, ce sera un orifice de sujétion, à moins que les orifices antérieurs ne soient situés sur des branchements, cas que nous considérerons tout à l'heure. Si maintenant nous faisons tourner une horizontale autour de ce premier orifice de sujétion, elle en déterminera un second, etc., etc.; on formera ainsi un polygone BmnpF, au-dessus duquel devra se trouver la ligne de charge. Les lignes de charge des branchements de sujétion devant avoir des pentes plus faibles que celles des côtés de ce polygone, on pourra, comme approximation, en leur supposant la même inclinaison, relever les projections verticales de leurs orifices des hauteurs qui résulteront de ces pentes, et voir si dans cette nouvelle position elles sont au-dessus du premier polygone de charge. Supposons, par exemple, que les orifices a, b, c, se trouvant sur des branchements, il y ait lieu de les relever en a', b', c', il est clair que les niveaux a', b' ne seront pas de nature à modifier le calcul des diamètres, mais le niveau b' déterminera une nouvelle ligne de charge B$b'np$F; ajoutons que si de B en b', de b' en n, le diamètre est

Digitized by Google

uniforme, la ligne de charge sera une courbe, ayant une légère flèche, et que par conséquent si quelque orifice se trouvait très-voisin de cette ligne, il serait bon de s'assurer par un calcul spécial que son service pourra être fait par la conduite.

Nous traitons ici du cas général d'orifices disposés d'une manière quelconque, mais nous devons faire observer que dans la pratique les orifices de sujétion sautent au yeux, pour ainsi dire, et qu'on a rarement besoin de les chercher. La surface d'une ville ne présente jamais de saillies accidentelles et irrégulières, les maisons ont des hauteurs sensiblement égales, de sorte que les niveaux des orifices à desservir se distribuent suivant des lignes dont les ondulations générales sont connues.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

DES CONDUITES ALIMENTÉES PAR PLUSIEURS RÉSERVOIRS.

76. Le diamètre d'une conduite destinée à faire un service en route de q par mètre, est déterminé par l'équation (20) :

$$D = \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{1}{5}} \frac{\gamma^{\frac{1}{5}} q^{\frac{2}{5}} L^{\frac{3}{5}}}{H^{\frac{1}{5}}}.$$

Ce diamètre croît donc assez rapidement avec la longueur de la conduite; si, toutes choses égales d'ailleurs, cette longueur devient deux fois plus considérable, le diamètre devient $\left(2^{\frac{3}{5}}\right)$ ou 1,51 fois plus fort; si l'on réduit la longueur à moitié, le diamètre est réduit d'un tiers environ. Or, si l'on remarque que, dans les distributions ordinaires, le débit des conduites n'est pas régulier, que, nul ou très-faible la nuit, il est variable pendant le jour suivant les heures, que par conséquent le diamètre des conduites doit être tel qu'il satisfasse aux besoins dans le moment de leur plus grande exigence, on en conclut qu'il est possible de profiter des intermittences de la distribution pour alimenter des réservoirs d'extrémité ou intermédiaires, réservoirs qui fourniront à la consommation dans les moments où elle est la plus considérable. Il peut même résulter de cette disposition une augmentation sensible de la charge disponible.

La ville de Paris offre un exemple de ce système de distribution. L'eau de l'Ourcq, amenée au bassin de La Villette, au nord de Paris, traverse la vallée de la Seine dans des conduites qui se terminent sur la rive opposée par des réservoirs. La nuit, les conduites ne fournissant que peu d'eau en route, remplissent les réservoirs extrêmes, de manière que, pendant le jour, les conduites, alimentées des deux côtés, peuvent fournir à une consommation beaucoup plus considérable que si elles ne l'étaient que d'un seul. Calculons maintenant toutes les circonstances de ce mode de distribution, et les conditions nécessaires pour qu'il fonctionne convenablement.

77. Soit donc une conduite BPQ (fig. 32), alimentée à ses extrémités par deux réservoirs dont la différence de niveau est h. Il peut se présenter trois

Digitized by Google

cas, suivant que le débit en route sera nul ou plus ou moins grand qu'une certaine quantité.

Si le débit en route est nul, la conduite portera au réservoir inférieur une quantité d'eau $R=\sqrt{\frac{hD^5}{\gamma L}}$, la ligne de charge sera la droite BF qui unit la surface des deux réservoirs.

S'il y a un débit Q en route, qui ne soit pas trop considérable, on aura, à l'extrémité, un débit P donné par l'équation (24) :

$$P=\sqrt{R^2-\frac{1}{12}Q^2}-\frac{1}{2}Q;$$

alors la ligne de charge est un arc de parabole du 3me degré passant par les points B et F, mais qui n'est pas tangent à l'horizontale en F.

Si le débit Q atteint la limite $R\sqrt{3}$, le réservoir d'extrémité ne reçoit plus rien, et la ligne de charge est un arc de parabole du 3me degré tangent à l'horizontale FG.

Si le débit Q dépasse la limite $R\sqrt{3}$, les deux réservoirs fournissent à l'alimentation des quantités que nous allons déterminer, ainsi que la ligne de charge.

Soient : l et l' les longueurs de la conduite alimentée par les réservoirs de gauche et de droite ; H la perte de charge en P, point de partage des deux distributions. En considérant ces portions de conduite comme isolées, nous avons :

$$H=\frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2 l^3}{L^2D^5},\quad H-h=\frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2 l'^3}{L^2D^5},\quad l+l'=L. \qquad (37)$$

Ces trois équations peuvent servir à déterminer trois des sept quantités l, l', D, Q, H, h, l, quand les quatre autres seront connues.

Si l, l', D, sont les inconnues, on a :

$$l=L\frac{\sqrt[3]{H}}{\sqrt[3]{H}+\sqrt[3]{H-h}},\quad l'=L\frac{\sqrt[3]{H-h}}{\sqrt[3]{H}+\sqrt[3]{H-h}},\quad D^5=\frac{\gamma Q^2 L}{3(\sqrt[3]{H}+\sqrt[3]{H-h})^3}. \qquad (38)$$

La courbe des pressions a pour équation :

$$y=\left(\frac{\sqrt[3]{H}+\sqrt[3]{H-h}}{L}\right)^3 x^3,$$

en prenant l'abscisse x positivement de chaque côté du point M. La branche MF, complétement symétrique de la branche MB, est seulement un peu moins étendue. Le rapport entre les longueurs de ces deux branches est donné par l'équation simple $\frac{l}{l'}=\sqrt[3]{\frac{H}{H-h}}$.

Digitized by Google

On voit que, toutes les fois que h est petit par rapport à H, on a sensiblement $l = l' = \frac{1}{2}L$, c'est-à-dire que le point de partage P se trouve vers le milieu de la conduite. Quelques chiffres feront comprendre la loi que suit ce rapport.

Soit : $H = 3h$, $H = 2h$, $H = \frac{3}{2}h$, $H = \frac{8}{7}h$, $H = \frac{27}{26}h$,

on a : $l = 0{,}53L$, $l = 0{,}56L$, $l = 0{,}59L$, $l = 0{,}67L$, $l = 0{,}75L$,
$l' = 0{,}46L$, $l' = 0{,}44L$, $l' = 0{,}41L$, $l' = 0{,}33L$, $l' = 0{,}25L$.

Lorsque la perte de charge H, sur le point de partage de la conduite, est inconnue, la détermination exacte des longueurs l et l' exige des calculs longs et compliqués; mais on peut en avoir des valeurs approximatives, suffisantes pour la pratique, au moyen de formules assez simples. Les équations (37) donnent en effet :

$$h = \frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2}{L^2 D^5}(l^3 - l'^3) = \frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2}{L^2 D^5}(l - l')(L^2 - ll');$$

d'où :

$$l - l' = 3L\frac{R^2}{Q^2}\left(\frac{1}{1 - \frac{ll'}{L^2}}\right).$$

le produit ll' est toujours compris entre 0 et $\frac{1}{4}L^2$, la première valeur ayant lieu quand l' est nul, et la seconde quand $l' = \frac{1}{2}$, L on a donc :

$$l - l' > 3L\frac{R^2}{Q^2}, \quad l - l' < 4L\frac{R^2}{Q^2}.$$

En prenant une de ces deux valeurs, l'erreur est nécessairement plus petite que $L\frac{R^2}{Q^2}$, et à moins que l' ne soit très-petit, la seconde est beaucoup plus exacte que la première. En adoptant, par exemple, pour le rapport $\frac{H}{h}$ les chiffres précédents, on trouverait pour les valeurs extrêmes, $H = 3h$, $H = \frac{27}{26}h$, $l - l' = 3{,}99\,L\frac{R^2}{Q^2}$, $l - l' = 3{,}69\,L\frac{R^2}{Q^2}$. En appelant donc m un coefficient toujours compris entre 3 et 4, S et S' les dépenses lq et $l'q$ des deux réservoirs, il vient :

$$l = \frac{1}{2}L\left(1 + m\frac{R^2}{Q^2}\right), \quad l' = \frac{1}{2}L\left(1 - m\frac{R^2}{Q^2}\right),$$

$$S = \frac{1}{2}Q + \frac{mR^2}{2Q}, \quad S' = \frac{1}{2}Q - \frac{mR^2}{2Q};$$

d'où :

$$S^2 = S'^2 + mR^2.$$

Digitized by Google

Cette équation démontre qu'à partir de la valeur $S^2 = 3R^2$, qui donne $S' = 0$, S' croît rapidement avec Q, tandis que S reste constant; on a en effet :

$$S = R\sqrt{m}\sqrt{1 + \frac{S'^2}{mR^2}};$$

on tire la même conclusion de la différentielle de S' par rapport à Q

$$dS' = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{mR^2}{Q^2}\right)dQ;$$

qui donne sensiblement $ds' = 0$, quand $Q =$ diffère peu de la valeur $R\sqrt{m}$. Ainsi l'augmentation du débit de la conduite est presque entièrement fournie par le réservoir d'extrémité; peu à peu le partage se fait d'une manière moins inégale, et si le nivellement de la conduite permettait que la perte de charge sur le milieu de la conduite fût considérable par rapport à la différence de niveau entre les deux réservoirs, l'augmentation de débit se partagerait à peu près également.

78. Quelques exemples numériques vont faire comprendre le parti qu'on peut tirer de ces formules dans la pratique.

Supposons qu'une conduite maîtresse de 4.000^m de longueur doive débiter dans son parcours 400^c (0$^{m.c.}$,089 par seconde), puisés à un réservoir placé à son origine et alimenté d'une manière quelconque; que le niveau des orifices à desservir à son extrémité ne permette qu'une perte de charge de 8^m; que la consommation de ces 400^c se fasse de la manière suivante :

Par une fontaine monumentale coulant 8 heures. . . .	100^c
Par des bornes-fontaines coulant 3 heures.	150^c
Par des concessions particulières coulant 12 heures. . .	150^c
TOTAL.	400^c

Le débit maximum de la conduite serait évidemment :

$$100\frac{24}{8} + 150\frac{24}{3} + 150 - \frac{24}{2} = 1800^c;$$

si donc on voulait satisfaire aux conditions de ce programme sans réservoir d'extrémité, on aurait pour déterminer le diamètre de la conduite :

$$D^5 = \frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2 L}{H} = \frac{1}{3}\frac{0{,}0004 \times 4000}{8} = 0{,}067,$$

nombre qui, d'après les tables, correspond à $D = 0^m{,}58$ ou $0^m{,}59$. Imaginons maintenant qu'on ait recours à un système avec réservoir d'extrémité, il faudra que le niveau moyen de ce réservoir soit sensiblement plus élevé que

Digitized by Google

les derniers orifices à desservir; nous le placerons donc à 5^m au-dessous du premier. Supposons que la disposition des lieux soit telle qu'on puisse se permettre une perte de charge de 15^m sur le milieu de la conduite, nous aurons (38)

$$D^5 = \frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2 L}{(\sqrt[3]{H}+\sqrt[3]{H-h})^3} = \frac{1}{3}\frac{0{,}0004 \times 4000}{(\sqrt[3]{15}+\sqrt[3]{10})^3} = 0{,}0055;$$

ce qui donne, d'après les tables, une valeur de D comprise entre $0^m{,}35$ et $0^m{,}36$.

Ainsi, avec un réservoir d'extrémité, une conduite d'un diamètre de $0^m{,}36$ suffit au même service que celle d'un diamètre de $0^m{,}59$ sans réservoir; on réaliserait donc sur la conduite une économie d'environ 23 fr.[1] par mètre courant, soit 25 fr. avec les robinets et autres pièces accessoires, c'est-à-dire de 100,000 fr. pour toute la longueur. Ajoutons que la pose d'une conduite de $0^m{,}59$ exigerait peut-être la construction d'une galerie spéciale ou le dédoublement de la conduite, ce qui augmenterait énormément la dépense. Les circonstances locales peuvent être telles, au contraire, que la construction d'un réservoir soit facile et peu dispendieuse.

Le diamètre $0^m{,}36$ donné par le calcul précédent ne serait une bonne solution de la question, qu'autant qu'il suffirait à l'alimentation du réservoir d'extrémité. Il est donc indispensable de se rendre compte de ce qu'il perd et de ce qu'il gagne, dans les quatre périodes de la distribution supposée.

Première période de trois heures. — Ecoulement simultané des bornes, de la fontaine monumentale et des concessions, dépense de la conduite 1800^c. Le réservoir perd, puisque nous avons $H = 3h$, les 0,46 de 1800^c; mais comme cette période ne dure que 3 heures, ou 1/8 de jour, la perte est de $0{,}46\frac{1800^c}{8} = 103^c{,}50$.

Deuxième période de cinq heures. — Ecoulement simultané de la fontaine monumentale et des concessions, dépense de la conduite 600^c. Pour reconnaître ce que fait alors le réservoir, il faut déterminer la quantité $R = \sqrt{\frac{hD^5}{\gamma L}}$, qui est celle que reçoit le réservoir, quand on ne perd rien en route.

$$\gamma R^2 = \frac{hD^5}{L} = \frac{5 \times 0{,}006}{4000} = 0{,}000.007.5,$$

[1] Nous avons déjà dit, n° 54, que le prix des conduites en fonte est de 100 fr. environ par mètre de diamètre et par mètre courant.

Digitized by Google

nombre qui correspond dans les tables à $0^{m.c.},0548$ ou 247°. La quantité que la conduite peut distribuer sans rien prendre au réservoir d'extrémité, est la précédente multipliée par $\sqrt{3}$, ou $0^{m.c.},095$ (427°), nous aurons donc pour la perte du réservoir pendant cette période :

$$S' = \frac{1}{2}Q - \frac{3R^2}{2Q} = 300^\circ - \frac{(427)^2}{1200} = 149^\circ;$$

comme elle n'a lieu que pendant cinq heures, elle correspond à $\frac{5}{24}\,149^\circ = 31^\circ$.

Troisième période de quatre heures. — Ecoulement des concessions; la conduite débite en route 150°. La quantité portée au réservoir est donnée par l'équation :

$$P = \sqrt{R^2 - \frac{1}{12}Q^2} - \frac{1}{2}Q = \sqrt{0,548 - \frac{1}{12}(0,067)^2} - 0,034 = 0^{m.c.},017,$$

ou par la formule approchée :

$$P = R - 0,55\,Q = 0,548 - 0,067 \times 0,055 = 0^{m.c.},018,$$

ce qui correspond à 76°, et pour quatre heures à $\frac{1}{6}$ 76° ou à 13°.

Quatrième période de douze heures. — La conduite ne débitant rien en route, porte au réservoir d'extrémité R=247°, soit 123° pour douze heures.

En résumé, voici quelle serait la marche de la distribution :

	DÉBIT DE LA CONDUITE		RÉSERVOIR	
	TOTAL.	relatif A SA DURÉE.	GAIN.	PERTE.
Première période, 3 heures....	1,800°	225°	»	103°,50
Deuxième période, 5 heures...	600	125	»	31,00
Troisième période, 4 heures...	300	50	13°	»
Quatrième période, 12 heures..	»	»	123	»
	»	400°	136°	134°,50

La somme des gains du réservoir dépassant celle des pertes, il s'ensuit que le diamètre $0^m,36$ de la conduite est suffisant pour l'alimentation du réservoir d'extrémité, comme il l'est pour la distribution en route.

79. Cette concordance des deux conditions tient au débit très-irrégulier de la conduite, qui s'élève, pour une distribution moyenne de 400°, jusqu'à 1800° dans certains moments; ce qui exige un fort diamètre, qui

Digitized by Google

se trouve ensuite suffisant pour l'alimentation. Il n'en serait plus ainsi si le débit maximum s'écartait moins de la dépense moyenne.

Si, par exemple, le système de distribution n'eût comporté qu'un écoulement régulier de 600° pendant seize heures, ce qui n'aurait donné que la même moyenne de 400°, le diamètre de la conduite eût été déterminé par l'équation (37)

$$D^5 = \frac{1}{3} \cdot \frac{0{,}000044 \times 4000}{(\sqrt[3]{15} + \sqrt[3]{10})^3} = 0{,}000619.$$

nombre qui correspond dans les tables à $D = 0^m{,}23$.

Ainsi, dans ce nouveau mode de distribution, un diamètre de $0^m{,}23$ suffit avec une conduite alimentée par les deux extrémités; mais le réservoir, pendant les huit heures d'alimentation, ne recevra que

$$\frac{8}{24}\sqrt{\frac{hD^5}{\gamma L}} = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{5 \times (0{,}23)^5}{0{,}0025 \times 4000}} = 0{,}0059 = 27°.$$

tandis qu'il dépensera $0{,}46\frac{16}{24}600° = 184°$. Le diamètre $0^m{,}23$, qui suffit à la distribution, est donc inadmissible. On pourra déterminer celui qu'exige l'alimentation du réservoir d'extrémité, soit par tâtonnement, soit en égalant l'expression de la perte à celle du gain; on aurait ainsi :

$$\frac{1}{2}Q\left(1 - \frac{3R^2}{Q^2}\right)\frac{16}{24} = \frac{8}{24}R;$$

d'où l'on tirerait :

$$R = \frac{1}{6}Q(\sqrt{13} - 1) = \frac{0{,}133}{6}2{,}60 = 0{,}0578;$$

et enfin $$D^5 = \frac{\gamma RL}{h} = \frac{0{,}000008 \times 4000}{5} = 0{,}00672;$$

ce qui donne $D = 0^m{,}37$. Ainsi dans les conditions de ce système de distribution, un diamètre de $0^m{,}23$ suffit à l'écoulement maximum, mais il en faut un de $0^m{,}37$ pour l'alimentation du réservoir d'extrémité. Si donc on s'était borné à déterminer le diamètre d'après les seules nécessités de l'écoulement, on aurait commis une faute grave. Le réservoir, si grand qu'il fût, supposé plein, se viderait bien vite et ne se remplirait pas; et la conduite ne ferait plus un service continu à son extrémité. Avec le diamètre $0^m{,}37$, non-seulement la distribution se fait, mais elle se fait avec un excès de charge; le problème est donc résolu au point de vue mathématique, mais

Digitized by Google

il est fort mal résolu au point de vue pratique et rationnel. En effet, si on calcule le diamètre nécessaire pour dépenser les 600° (débit maximum) avec la charge $h = 5^m$, différence de niveau entre les réservoirs, on trouve[1] :

$$D^5 = \frac{L(0,000045)}{5} = 0,0118,$$

qui correspond à $D = 0^m,42$. Or, la différence de dépense entre un diamètre de $0^m,42$ et un de $0^m,37$ serait de 6 fr. par mètre, ce qui donnerait 24,000 fr., somme qui ne suffirait certainement pas à la construction d'un réservoir, aux frais d'entretien, de surveillance, etc., qu'exige un ouvrage de cette nature.

Les calculs numériques précédents nous paraissent mettre en relief l'influence considérable du mode de distribution sur les diamètres des conduites. L'irrégularité de la dépense d'eau est toujours un motif d'augmenter leurs diamètres, cependant nous avons vu qu'ils peuvent être suffisants pour le débit maximum et ne pas l'être pour d'autres fonctions. Il faut donc examiner avec soin toutes les périodes de la distribution et vérifier si les diamètres sont assez grands pour amener l'eau nécessaire aux divers services qui leur sont demandés. Nous sommes loin d'avoir épuisé toutes les combinaisons possibles, mais nous croyons qu'il n'y en a aucune dont on ne puisse calculer les circonstances à l'aide des formules précédentes, soit directement, soit par un court tâtonnement. Il ne sera peut-être pas inutile cependant d'examiner encore quelques-unes de celles qui doivent trouver une application plus fréquente dans la pratique.

80. Nous avons supposé un seul réservoir placé à l'extrémité de la conduite, mais il est clair qu'on peut en imaginer un certain nombre échelonnés de distance en distance. Cette disposition permettra à la conduite une dépense maximum, d'autant plus considérable que les réservoirs seront plus nombreux, c'est-à-dire qu'on pourra, avec un très-petit diamètre, suffire à une très-grande dépense. Il restera seulement à examiner si le diamètre est suffisant pour l'alimentation de tous les réservoirs. Or, il sera facile de s'en assurer par les formules précédentes ; en effet, on pourra toujours décomposer la conduite en plusieurs parties alimentées par un ou deux réservoirs, cas que nous avons considérés. Si, par exemple, du second réservoir

[1] Nous faisons ici une hypothèse défavorable à ce système, car les orifices au niveau du trop-plein du réservoir d'extrémité ne seraient servis que quelques heures. Nous devrions donc faire, dans le calcul du diamètre de la conduite sans réservoir d'extrémité, $h < 5^m$, ce qui conduirait à un diamètre plus petit que $0^m,42$.

Digitized by Google

FG (fig. 32), partait une conduite GZ, il est clair qu'il faudrait que le réservoir FG fût alimenté de manière à fournir au débit de cette conduite.

81. Il arrive souvent que pour assurer le service de la distribution, on partage les eaux en deux conduites égales suivant des directions à peu près parallèles. Si un accident survient à une des conduites, l'autre, à l'aide de robinets d'arrêt, fait un demi-service qui suffit aux besoins les plus essentiels. Nous avons déjà fait remarquer que cette disposition entraînait une assez forte augmentation de dépense, dans le rapport de 1 à 1,53; mais cette proportion n'est exacte qu'autant que la seconde conduite ne fait pas de distribution dans son parcours; si elle en fait, on doit tenir compte de l'économie de la dépense du petit tuyau qui remplace la seconde conduite maîtresse. Par exemple, s'il s'agissait du système de distribution pour lequel nous avons trouvé que le diamètre de la conduite maîtresse devait être de $0^m,59$ sans réservoir d'extrémité, et de $0^m,36$ avec réservoir d'extrémité, il faudrait, dans le système de double conduite, que le débit de la conduite principale BCF (fig. 33), ajouté à celui de la conduite secondaire BDF, fût le même que celui de la conduite unique. Si l'on suppose les deux conduites peu distantes, de manière qu'au moyen des tuyaux transversaux l'égalité de charge se maintienne dans l'une et dans l'autre, on pourra donner à l'une d'elles un diamètre quelconque, pourvu qu'il soit supérieur au minimum nécessaire à son service spécial. La seule condition à satisfaire sera, pour le premier système :

$$\sqrt{D^5}+\sqrt{d'^5}=\sqrt{(0,59)^5}=0,267;$$

pour le second système :

$$\sqrt{D'^5}+\sqrt{d'^5}=\sqrt{(0,36)^5}=0,078.$$

Si nous faisons $d'=0,15$, nous aurons $\sqrt{d'^5}=0,008$, et par conséquent pour le premier système $\sqrt{D^5}=0,259$, qui donne $D>0,58$. Ainsi ce tuyau supplémentaire de 0,15 ne permettrait pas de diminuer le diamètre de la grosse conduite de $0^m,01$. Pour le second système on aurait : $\sqrt{D'^5}=0,070$, $D'<0,36$, $D'>0,35$; la diminution du diamètre ne serait pas d'un centimètre. En appelant toujours μ la dépense du tuyau de 1^m de diamètre, celle de l'établissement de la conduite serait :

dans le premier système : $\mu L\,(0,58+0,15)=0,73\,\mu L$,
dans le second système : $\mu L\,(0,36+0,15)=0,51\,\mu L$.

Digitized by Google

Si nous portons le diamètre de la seconde conduite à $0^m,20$, nous aurons $\sqrt{d'^5}=0,018$, et nous en déduirons :

$$\sqrt{D^5}=0,259,\ D=0,57,\ \sqrt{D'^5}=0,065,\ D'=0,34,$$

et les dépenses deviendront :

dans le premier système : $\mu L\,(0,57+0,20)=0,77\,\mu L$,
dans le second système : $\mu L\,(0,34+0,20)=0,54\,\mu L$.

Enfin si, dans les deux systèmes, on avait deux conduites égales, elles devraient être de $0^m,45$ de diamètre dans le premier, et de $0^m,28$ dans le second, de sorte que la dépense deviendrait :

pour le premier système : $0,90\,\mu L$,
pour le second système : $0,56\,\mu L$.

Réunissons ces chiffres pour les comparer plus facilement, et ne perdons pas de vue l'hypothèse qui leur sert de base. Il s'agit d'une distribution qui exige deux conduites parallèles, la plus petite doit être au moins de $0^m,15$ de diamètre, et la plus forte, de $0^m,58$ sans réservoir d'extrémité, et de $0^m,36$ avec réservoir. Nous supposons que la dépense du réservoir est A.

	$d'=0,15$	$d'=0,20$	$d'=D$
Premier système, sans réservoir.....	$0,73\,\mu L$	$0,77\,\mu L$	$0,90\,\mu L$
Deuxième système, avec réservoir	$0,51\,\mu L+A$	$0,54\,\mu L+A$	$0,56\,\mu L+A$

Ces chiffres démontrent que dans les deux systèmes l'économie est d'autant plus grande que la seconde conduite est d'un plus petit diamètre; cependant pour le second système, celui du réservoir d'extrémité, l'économie est très-peu importante, et il est hors de doute que dans la plupart des cas, ce qu'il y aurait de mieux à faire, serait de prendre des diamètres égaux. Il résulte de là que le système des réservoirs, en permettant de réduire les diamètres des conduites maîtresses, permet aussi d'en doubler le nombre et de rendre ainsi la distribution plus sûre. En général le dédoublement d'une conduite est d'autant plus dispendieux que son diamètre est plus considérable. Nous devons faire remarquer d'un autre côté, en faveur du premier système sans réservoir, qu'il présente cet avantage de pouvoir dépenser 1.800° d'une manière continue, pourvu qu'il soit suffisamment alimenté, tandis que le débit du système avec réservoir est essentiellement limité. On pourra

Digitized by Google

bien, un jour donné, avoir un écoulement de 1.800° pendant quatre heures, mais à la condition de n'en avoir qu'un de deux heures le lendemain, pour réparer la perte anomale du réservoir, quelle que soit d'ailleurs la quantité d'eau dont on puisse disposer. On ne pourrait pas davantage augmenter les écoulements dans d'autres périodes de la distribution, parce que ces écoulements augmenteraient les pertes ou diminueraient l'alimentation du second réservoir. Ainsi les avantages économiques et autres qui résultent de l'établissement de ce réservoir sont compensés par la limitation du débit, ce système ne peut fonctionner que dans les conditions où il a été établi. Ajoutons encore que dans le système de conduite sans réservoir d'extrémité, la charge sur presque tout le parcours de la conduite est bien plus considérable, de sorte qu'on peut y desservir des orifices plus élevés, ou avoir en cas de besoin des écoulements très-puissants. Le chiffre de la dépense n'est donc pas la seule considération qui doive influer sur le choix des systèmes, il faut avoir égard à une foule de considérations accessoires qui ont plus ou moins de valeur suivant les circonstances locales. Il est impossible de les énumérer toutes, parce qu'elles varient à l'infini. Ce n'est qu'en en faisant une étude complète, ainsi que des besoins présents et futurs, qu'on peut se déterminer dans le choix du mode de distribution. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

82. Pour simplifier les calculs nous avons supposé constant le niveau du réservoir d'extrémité; mais en réalité il varie entre certaines limites, de sorte que les quantités qui en sortent ou y sont apportées sont plus ou moins considérables que celles données par les formules.

Quoi qu'il en soit, quand la distribution se fait d'une manière normale, il faut toujours que dans les vingt-quatre heures la somme des abaissements soit égale à la somme des relèvements. Supposons qu'il s'agisse du premier exemple dans lequel le réservoir perd et reçoit 136° (2,600^{m}) par jour, la surface de l'eau pourra varier de 2^{m} si la surface du réservoir est de 1,300^{m}, de 4^{m} si elle était de 68° (650^{m}); c'est là un mouvement nécessaire au service de la distribution, qu'on ne pourrait contrarier par des manœuvres de vannes qu'aux dépens de la distribution elle-même. Après avoir déterminé la surface du réservoir d'après le terrain dont on peut disposer, on connaîtra donc l'amplitude de l'oscillation, et on pourra, au besoin, corriger les formules précédentes. Mais nous ferons observer que si l'on a calculé la valeur de h d'après le niveau du trop-plein du réservoir,

Digitized by Google

on a fait l'hypothèse la plus défavorable pour le diamètre de la conduite; car, d'une part, on a exagéré le chiffre de la perte du réservoir et atténué celui du gain. Comme, dans la pratique, il convient toujours d'augmenter les dimensions des diamètres donnés par les formules, on est presque toujours dispensé de faire cette correction.

La seule conséquence à laquelle on devra avoir égard, c'est à la variation de la ligne de charge. En effet, de l'abaissement du niveau du réservoir d'extrémité (fig. 32) d'une quantité FF', résulte une ligne de charge BMF' sensiblement plus basse que BMF; il pourrait donc se faire qu'un certain nombre d'orifices ne fût pas servi. Pour éviter cet inconvénient, il suffira de prendre pour h le niveau inférieur de l'oscillation, lorsqu'il s'agira de déterminer la ligne de charge d'après les orifices de sujétion, et ensuite le niveau supérieur, quand il s'agira de calculer le diamètre de la conduite, le gain et la perte du réservoir.

Les exemples numériques auxquels nous avons appliqué les formules de ce chapitre mettent en évidence l'influence considérable du mode de distribution des eaux sur le diamètre des conduites, et par conséquent sur les dépenses de leur établissement. Pour une même quantité d'eau de 400^{0} ou $800^{m.c.}$ par jour, qui n'exigera que des machines de même force, consommant la même quantité de charbon, il faudra des conduites d'un diamètre très-différent. L'aménagement des eaux a donc une très-grande importance. Si, dans l'exemple numérique du n° 78, au lieu de faire couler les bornes-fontaines simultanément pendant trois heures, on les échelonnait en quatre groupes coulant successivement, le débit maximum se réduirait à 900^{0}; si la fontaine monumentale, au lieu de couler huit heures, dépensait la même quantité d'eau en douze heures, la distribution maximum se réduirait à 800^{0}, etc. Le maximum d'économie est donné par l'écoulement le plus régulier.

Au lieu de deux conduites parallèles, on peut supposer qu'on en ait trois ou un plus grand nombre; au lieu de les supposer rapprochées, on peut les supposer plus ou moins écartées, de manière qu'on soit obligé de donner un diamètre assez fort aux conduites transversales; toutes ces combinaisons et toutes celles à l'infini qu'on pourrait imaginer peuvent être calculées par les formules précédentes, soit directement, soit par tâtonnement. Nous croyons donc inutile de nous étendre davantage sur un sujet que nous ne pourrions épuiser. (Voir le n° 54.)

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

DE LA RÉSISTANCE QUE DOIVENT PRÉSENTER LES CONDUITES FORCÉES EN GÉNÉRAL, ET PARTICULIÈREMENT LES TUYAUX.

83. Les conduites forcées ont à résister à plusieurs forces qui tendent à les déformer, les briser ou même les déplacer. Pour calculer les formes ou les dimensions les plus avantageuses à leur donner, il faudrait connaître la nature et les intensités de ces forces; malheureusement on manque de données précises à cet égard, de sorte que, comme on va le voir, on se sert de formules empiriques qui ne peuvent guère inspirer de confiance, toutes les fois qu'on a besoin de sortir des limites où elles ont été appliquées. Cependant ces formules s'appuient par certains points sur la théorie, et il n'est peut-être pas impossible de les en rapprocher davantage. C'est ce que nous allons essayer de faire en les reproduisant.

De toutes les forces qui agissent sur une conduite forcée, la plus facile à calculer, c'est la pression normale à la paroi et la tension qu'elle produit suivant la tangente de la courbe de section. Le mouvement de l'eau produisant une perte de charge dans les conduites, la pression n'y est jamais plus forte que lorsque l'eau est en repos, c'est-à-dire qu'on peut toujours la mesurer au moyen de la hauteur du réservoir.

Soient (fig. 34) P la pression sur la paroi de la conduite rapportée à l'unité de surface : pour l'eau on aura $P = 1000H$; on suppose cette pression constante dans tout le périmètre de la conduite;

D un diamètre divisant la conduite en deux parties telles que les tangentes aux extrémités soient parallèles;

e l'épaisseur de la paroi.

T la tension de la paroi rapportée à l'unité de surface;

$t = 2eT$ la tension de la paroi dans la section faite par le diamètre D;

Digitized by Google

La force qui tendra à séparer la conduite suivant le diamètre D sera PD; on aura donc :

$$t = PD;$$

mais il ne faudrait pas en conclure que la tension maximum par unité de surface dans l'épaisseur de la paroi est $\frac{PD}{2e}$; cela ne serait vrai qu'autant que la section aurait la forme de la courbe d'équilibre, c'est-à-dire que son rayon de courbure serait réciproque à la pression; et alors la tension serait constante, non-seulement en chaque point de l'épaisseur, mais en chaque point du périmètre. La pression P étant constante, la section d'équilibre doit avoir un rayon de courbure constant; c'est donc un cercle : dans ce cas seulement la tension est constante dans toute l'épaisseur de la conduite. Lorsque cette condition n'est pas remplie, il y a tendance à la déformation, les fibres intérieures sont plus ou moins tendues que les fibres extérieures.

Supposons, par exemple, que le tuyau soit un rectangle (fig. 35), dont les côtés sont a et b, la tension dans une section perpendiculaire à la largeur AB serait $T = bP$; mais, de plus, la paroi AB aurait à résister à des efforts perpendiculaires à sa direction, répartis uniformément sur toute sa longueur; efforts qui, considérés isolément, produiraient sur la pièce AB le même effet que si elle reposait en A et en B. La tension bP suivant AB, s'ajoutera à la tension et diminuera la compression produites par l'effort perpendiculaire aP, et la paroi résistera, si le maximum de tension ne dépasse pas celui qui produit la rupture. Ainsi, dans le cas où l'eau serait forcée entre des parois rectilignes, comme cela arrive, sinon pour les tuyaux, mais pour les robinets vannes ou les boîtes à clapet, il faudrait bien se garder de calculer l'épaisseur de leurs parois par la formule précédente, qui ne donne que la tension moyenne, et non pas la tension maximum.

84. On voit, d'après ce que nous venons de dire, combien la maçonnerie est en général peu propre à former la paroi des conduites forcées, puisque les efforts qu'elle aurait à supporter tendraient à séparer les joints. Toute la résistance viendrait de la cohésion des mortiers et de la pression extérieure des terrains, deux forces trop irrégulières pour qu'on puisse y compter. Cependant si la pression devait être très-faible, on pourrait avoir quelque succès en entourant la maçonnerie d'un massif de béton. Mais, en général, on doit reconnaître qu'elle serait toujours là dans de

Digitized by Google

mauvaises conditions. Sa propriété spéciale, sa destination dans les travaux publics, est de résister à la pression et non à l'extension. Nous verrons tout à l'heure que son défaut d'élasticité est encore un motif de repousser son emploi dans les conduites forcées.

Les métaux, au contraire, résistent en général très-bien à l'extension, et quoique leur valeur soit beaucoup plus considérable, à égalité de poids ou de volume, ils paraissent destinés à être employés presque exclusivement pour cet usage. Cependant on verra plus loin qu'on s'est servi avec quelque succès des tuyaux de poterie; on a essayé le verre; en général, on peut se servir avec avantage de tout ce qui peut former une courbe fermée sans joint ou avec un joint solide. Quelle que soit la matière adoptée, en dehors des considérations théoriques que nous venons d'exposer, il est évident qu'une foule de convenances conduisent à donner à la section une forme circulaire. Dans ce cas, on aura évidemment :

$$T = \frac{DP}{2e};$$

cette tension ne devra pas dépasser une certaine quantité R', variable suivant la nature de la paroi. De sorte qu'on aura :

$$e = \frac{DP}{2R'}.$$

Pour la fonte, par exemple, qui rompt sous une charge de $R = 12.000.000^k$, on fait ordinairement $R' = \frac{1}{4}R = 3.000.000$, ce qui donne, en mettant pour P sa valeur 1000H :

$$e = \frac{DP}{6000000} = 0,00016\,DH.$$

Telle est la valeur de R' admise pour la fonte dans le service municipal de la ville de Paris. Mais il est facile de voir que cette formule donnerait des valeurs de e inacceptables pour la pratique. Posons en effet $H = 20^m$, ce qui est la pression maximum des tuyaux d'Ourcq à Paris, et nous aurons :

pour $D = 0^m,10$ $\quad e = 0^m,00032$,
pour $D = 0^m,20$ $\quad e = 0^m,00064$,
pour $D = 0^m,30$ $\quad e = 0^m,00096$;

c'est-à-dire que le tuyau de $0^m,30$ ne devrait guère avoir que $0^m,001$ d'épaisseur; pour la tôle, les épaisseurs ne seraient guère que le quart des précédentes, puisqu'on expose souvent le fer à des tensions de 12000000^k.

Digitized by Google

On a donc reconnu la nécessité de substituer à la pression réelle donnée par la hauteur du réservoir au-dessus du point le plus bas des conduites, une pression beaucoup plus considérable. Ainsi, à Paris, on a fait $H = 100^m$ au lieu de 20^m ; nous n'avons trouvé nulle part la justification de ce chiffre. On s'est borné à dire que c'est pour tenir compte de l'excès de tension produit par les coups de bélier qui résultent de la fermeture brusque des robinets. Nous allons essayer de soumettre au calcul l'effort qu'ont à supporter les conduites par suite de cette circonstance. Ici ce n'est plus une pression statique, c'est un choc produit par la masse d'eau en mouvement, dont l'effet ne peut être détruit que par l'extension de la conduite.

85. Pour nous rendre compte des effets de ce choc, considérons une masse m, animée d'une vitesse v et venant frapper contre un corps élastique qui a la propriété de fléchir de quantités proportionnelles aux pressions qu'il supporte.

Soient : l la longueur de ce corps;

e la surface pleine de sa section;

x la quantité dont le corps se raccourcit par suite du choc;

E la pression statique nécessaire pour doubler la longueur d'un prisme dont la section est l'unité de surface : $\frac{l}{e\mathrm{E}}$ sera la flexion correspondante à l'unité de poids pour le corps considéré;

θ_0 la pression initiale à laquelle le corps était soumis avant le choc;

θ la pression correspondante à la flexion x;

p le poids de la masse m;

$h = \frac{v^2}{2g}$ la hauteur due à sa vitesse.

Le travail du ressort, depuis la pression θ_0 jusqu'à la pression θ, sera $\left(\frac{\theta+\theta_0}{2}\right)x$; mais puisque pour 1 kil. le corps fléchit de $\frac{l}{e\mathrm{E}}$, pour $(\theta-\theta_0)$ il fléchit de $(\theta-\theta_0)\frac{l}{e\mathrm{E}}$. On a donc :

$$\frac{\theta^2-\theta_0^2}{2}\cdot\frac{l}{e\mathrm{E}} = \frac{1}{2}mv^2 = ph;$$

d'où

$$\theta = \sqrt{\frac{2e\mathrm{E}ph}{l} + \theta_0^2};$$

Digitized by Google

la tension par mètre T sera donc $\frac{\theta}{e}$,

ou
$$T=\sqrt{\frac{2Eph}{el}+\frac{\theta_0^2}{e^2}}.$$

Si nous appliquons cette formule au tuyau qui reçoit le choc de l'eau en mouvement dans son intérieur et arrêtée brusquement, nous aurons :

$$p=1000^k\frac{\pi D^2}{4},\ l=\pi D,\ \theta_0=\frac{DP}{2}=\frac{1000HD}{2},$$

et l'équation précédente deviendra :

$$T=\sqrt{\frac{1000DE}{2e}h+\left(\frac{1000HD}{2e}\right)^2};$$

la tension T pour chaque métal ne devant pas dépasser une certaine quantité R′, on aura pour la valeur de e

$$e=\frac{1000D}{2R'}\left\{\sqrt{H^2+\left(\frac{E}{2R'}h\right)^2}+\frac{E}{2R'}h\right\}.$$

Comme il s'agit de déterminer une épaisseur pour la pratique, et qu'il n'y a aucun inconvénient à avoir un résultat plus fort, on peut simplifier cette formule en remarquant qu'on a toujours :

$$H+\frac{E}{2R'}h>\sqrt{H^2+\left(\frac{E}{2R'}h\right)^2};$$

il vient alors :
$$e=\frac{1000D}{2R'}\left\{H+\frac{E}{R'}h\right\}.$$

Le terme $\frac{E}{R'}h$ exprime la hauteur de la charge à ajouter à la pression ordinaire pour tenir compte du coup de bélier. Cette quantité, qui varie suivant la nature de la paroi, est d'autant plus grande que celle-ci est moins élastique et moins résistante; ainsi, pour de la maçonnerie, pour de la poterie, elle serait plus grande que pour des métaux. Pour ceux-ci, les quantités E et R′ augmentent et diminuent en même temps, ce qui tend à donner au rapport $\frac{E}{2R'}$ une valeur constante. Quant à la valeur de h, hauteur due à la vitesse de l'eau dans le tuyau, au moment où elle est arrêtée brusquement, nous ferons observer qu'il ne peut y avoir d'arrêt brusque que dans les petits tuyaux dont les robinets se ferment à la main; que pour les tuyaux d'un fort diamètre les arrêts sont nécessairement plus lents, parce que leurs robinets se manœuvrent à l'aide de vis. C'est donc

Digitized by Google

faire une supposition assez large pour ces derniers tuyaux que de supposer au moment de la fermeture $v = 0,65$, et, par conséquent, $h = 0,02$. La formule deviendrait alors :

$$e = \frac{1000\,D}{2R'}\left(H + 0,02\frac{E}{R'}\right).$$

En appliquant cette formule à de la fonte, on aurait :

$$E = 12.000.000.000,\quad R' = 3.000.000.$$

$$e = 0,000.16\,D\,(H + 80^m);$$

c'est-à-dire que la pression due au coup de bélier équivaudrait à celle qui serait due à une hauteur de 80^m. De cette formule, on peut tirer plusieurs conséquences, c'est que dans les distributions ordinaires où H n'est pas très-considérable, la pression maximum, c'est-à-dire celle qui détermine la résistance du tuyau, est sensiblement la même, et qu'il n'y a pas lieu, par conséquent, de changer l'épaisseur des tuyaux, soit dans des distributions différentes, soit d'après leur position dans la distribution ; que dans les distributions exceptionnelles, c'est-à-dire où la quantité H dépasse 50 ou 60^m, cette épaisseur ne sera guère plus considérable que dans les autres. Ces conséquences sont encore confirmées par la nécessité où l'on se trouve dans la pratique d'ajouter un terme constant à la formule précédente. En effet, elle ne donne encore que des épaisseurs beaucoup trop faibles. Ainsi en faisant $H = 20^m$ dans la formule précédente, on aurait :

pour $D = 0^m,10$,	$e = 0^m,0016$,
$D = 0^m,20$,	$e = 0^m,0032$,
$D = 0^m,30$,	$e = 0^m,0048$,

épaisseurs évidemment insuffisantes.

86. On s'est donc déterminé à ajouter à la formule un terme constant, et celle dont on se sert aujourd'hui à Paris pour la fonte est :

$$e = 0,008 + 0,016\,D. \qquad (39)$$

M. Genieys se servait autrefois de la suivante :

$$e = 0,010 + 0,007\,D.$$

M. Daubuisson, pour les fontaines de Toulouse, a employé la formule

$$e = 0,010 + 0,015\,D.$$

Pour les distributions d'eau qui ne comportent que de petits diamètres,

Digitized by Google

toutes ces formules donnent des résultats peu différents, attendu que le terme variable disparaît pour ainsi dire devant le terme constant. Mais si l'on devait employer des tuyaux d'un plus fort diamètre, on aurait tort de se laisser guider aveuglément par ces formules ou par les chiffres que nous donnerons dans le tableau des renseignements pratiques. Qu'on nous permette d'exposer à ce sujet quelques considérations dont on pèsera l'importance en cas de besoin.

Lorsque les conduites doivent être moulées, il est très-difficile de leur donner une épaisseur uniforme ; pour la fonte, le noyau du moule se déplace très-souvent, ce qui diminue l'épaisseur d'un côté en ajoutant une épaisseur inutile de l'autre. C'est un premier motif d'ajouter un terme constant à la formule. En voici un second : quoique la fonte ne s'oxyde pas facilement, cependant il est certain qu'elle est attaquée à l'intérieur par les dépôts salins qui s'y forment, et plus fortement à l'extérieur par les eaux qui s'infiltrent à travers le sol. Lorsqu'on relève d'anciennes conduites, on trouve presque toujours la paroi extérieure enveloppée d'une couche de terre, sable ou pierre, qui s'y est agglutinée à l'aide de l'oxyde de fer ; il faut donc compter nécessairement sur une perte d'épaisseur par suite de l'oxydation de la paroi. Enfin, une des causes les plus fréquentes et peut-être la plus puissante de la rupture des conduites, est le tassement du sol, tassement provoqué presque toujours par des fuites de joint ; lorsque le sol sur lequel une conduite est posée vient à s'abaisser, elle ne peut suivre ce mouvement d'une manière assez complète, et se trouve alors porter les terres qui sont au-dessus d'elle, et qui n'adhèrent que peu à la paroi de la tranchée. Dans ces circonstances le passage d'une lourde voiture peut amener une rupture. Considérée à ce point de vue la résistance des conduites pourrait être assimilée à celle d'un tuyau uniformément chargé, dont le moment de rupture est proportionnel à l'épaisseur de sa paroi et au carré de son diamètre. Par conséquent, les tuyaux de fort diamètre seraient bien plus propres que les autres à résister à ces sortes d'accidents, puisque la force qui tendrait à les rompre serait à peu près la même, tandis que leur résistance croîtrait rapidement avec le diamètre. Si donc on avait suivi la loi donnée par la seule considération de la pression extérieure, on serait arrivé, pour les petits tuyaux, à des dimensions complétement inadmissibles. Cela est si vrai que l'usage est de donner aux conduites de gaz, dont la pression intérieure peut être considérée

Digitized by Google

comme nulle, une épaisseur à peu près égale à celle des conduites d'eau.

87. Nous pensons donc que les formules dont on s'est servi jusqu'à présent pour déterminer l'épaisseur des tuyaux de fonte, ne doivent être considérées que comme des formules empiriques, dont l'usage ne peut être étendu au delà des limites où on les applique ordinairement. Si, par quelque enduit ou procédé chimique, on parvenait à préserver la fonte de l'oxydation, si l'on perfectionnait le moulage de manière à régulariser l'épaisseur de la paroi, le terme constant introduit dans ces formules, et qui, comme nous l'avons dit, joue le principal rôle dans les tuyaux ordinaires, pourrait beaucoup diminuer. C'est un résultat auquel on est déjà parvenu en coulant les tuyaux verticalement, au lieu de les couler horizontalement, comme on le faisait autrefois; peut-être même que la formule (39) n'est pas assez hardie, car des fondeurs nous ont proposé de réduire les épaisseurs de 1/5me, en soumettant les tuyaux à une épreuve de 15 atmosphères, au lieu de 10, comme le demandait le cahier des charges, pourvu qu'on leur accordât le même prix par mètre courant. Nous avons regretté que les formes administratives ne nous permissent pas d'accepter cette offre, parce que nous sommes convaincu qu'une fois le perfectionnement de fabrication réalisé et vulgarisé, la réduction de prix au bénéfice du public serait arrivée. Ce n'est, au reste, qu'un retard que la concurrence ne manquera pas d'abréger.

88. Quoi qu'il en soit, l'ingénieur chargé de projeter des tuyaux de conduite pour des pressions extraordinaires et d'un diamètre exceptionnel n'a, pour ainsi dire, plus de guide pour en déterminer l'épaisseur; et, en attendant que l'expérience puisse l'éclairer, nous croyons qu'il devrait se servir de la formule suivante :

$$e = 0{,}008 + 0{,}000.16\,D\,(80 + H), \qquad (40)$$

qui peut se mettre sous la forme :

$$e = 0{,}008 + 0{,}000.16\,DH + 0{,}0128\,D.$$

Le terme constant 0,008 résulte des imperfections du moulage et d'autres circonstances accidentelles énumérées plus haut; le terme 0,00016 DH représente l'épaisseur indispensable qui résulte de la ténacité du métal; c'est ordinairement le moins important numériquement; le terme 0,0128 D donne le surcroît d'épaisseur nécessaire pour résister aux coups de bélier; ce terme étant proportionnel à D pourrait beaucoup

Digitized by Google

augmenter l'épaisseur et la dépense du tuyau, si le diamètre devait être très-considérable. Peut-être, dans ce cas, serait-il avantageux de remplacer cette partie de l'épaisseur du tuyau par des précautions spéciales, par des soupapes de sûreté qui se lèveraient toutes les fois que la pression dépasserait une certaine limite, par des robinets d'arrêt tels que la fermeture fût nécessairement très-lente. A ce sujet, nous ferons observer que sur les grandes conduites la manœuvre de ces robinets ne se faisant que très-rarement, les précautions à prendre ne sauraient être bien gênantes; d'ailleurs on remarquera que ce n'est que près de la fermeture complète qu'il importe d'aller lentement, parce que ce n'est que lorsque l'étranglement est considérablement réduit qu'il a une influence sensible sur la vitesse de l'eau. Il n'y a aucun inconvénient à fermer une vanne rapidement pendant les 3/4 de la course; ce n'est qu'à la fin qu'il importe de ralentir le mouvement. On pourrait d'ailleurs, au moyen d'un mécanisme particulier, faire de cette lenteur une nécessité de la fermeture, pour se mettre à l'abri des accidents que pourrait occasionner l'ignorance du fontainier.

89. Les formules que nous venons de présenter justifient ce résultat d'expérience, que nous avons souvent cité et introduit dans les calculs, que le prix d'un tuyau mis en place est proportionnel à son diamètre. On vient de voir, en effet, que l'épaisseur du tuyau ne croît que très-lentement avec le diamètre; le poids du tuyau est donc à peu près proportionnel au diamètre. S'il croît un peu plus vite que cette dimension, cette légère augmentation est compensée par les frais de pose, qui ne croissent pas aussi rapidement. De sorte que la somme des dépenses se trouve sensiblement proportionnelle au diamètre des conduites. Ce prix, lorsque la fonte est à 20 fr. les 100 kilog., est maintenant de 1 fr. par centimètre de diamètre, c'est-à-dire que 1 mètre de tuyau de $0^m,20$ coûte 20 fr. mis en place. Mais le prix des métaux, quoique tendant continuellement à baisser, subit de grandes variations d'une année à l'autre. Cependant nous croyons que, quelles que soient ces variations, le prix des conduites est toujours sensiblement proportionnel à leur diamètre. On trouvera d'ailleurs plus loin tous les renseignements pratiques nécessaires pour le calculer.

90. Les calculs que nous avons faits, et les considérations que nous avons exposées pour les tuyaux de fonte, s'appliqueraient évidemment à

Digitized by Google

tout autre métal qui donnerait des tuyaux par la fusion, c'est-à-dire que la formule aurait la forme :

$$e = m + nD\,(H + h)\,;$$

m étant un coefficient constant dépendant du degré de perfection du moulage et de l'épaisseur de la paroi qui peut être altérée dans le sol,

n un coefficient dépendant de la ténacité du métal,

H la plus grande charge de la distribution,

h la charge additionnelle qui peut résulter d'un coup de bélier $= 0{,}02\frac{E}{R'}$.

Toutes ces quantités auraient besoin, pour chaque métal, d'être déterminées par l'expérience; nous ne croyons donc devoir parler que du plomb, autrefois exclusivement employé dans les distributions d'eau, et qui y conserve aujourd'hui une destination spéciale.

La ténacité du plomb n'est guère que la dix-neuvième partie de celle de la fonte. De sorte que s'il s'agissait de supporter un poids au moyen d'une barre, il faudrait que celle de plomb eût une section sept fois plus considérable que celle de fonte; de plus, la densité du plomb étant une fois et demie celle de la fonte, et le prix trois fois plus considérable, il s'ensuit que la barre de plomb qui porterait le même poids que la barre de fonte coûterait trente fois plus cher. Il n'en serait peut-être pas de même pour les tuyaux, à cause du terme constant à introduire dans la formule. Quoi qu'il en soit, on doit reconnaître que depuis la découverte de la fonte, le tuyau de plomb à fort diamètre a dû complétement disparaître des distributions d'eau. Nous disons à fort diamètre, parce que pour les petits diamètres le plomb présente certains avantages qui compensent l'excès de dépense. Les tuyaux de ce métal, pouvant se courber dans tous les sens, sont éminemment propres à suivre les tracés sinueux d'une distribution particulière. C'est donc avec ces tuyaux, généralement du diamètre de $0^{m},027$, que se font à Paris tous les branchements particuliers. Pour d'aussi petites dimensions, c'est évidemment le terme constant qui doit dominer dans la formule; on ne peut donc, pour ces tuyaux, que s'en rapporter à l'usage, car le calcul conduirait à des épaisseurs inadmissibles. Il arrive quelquefois cependant que, dans le reste de la distribution, on emploie des bouts de tuyaux de plomb pour raccords; mais comme il ne s'agit alors que de longueurs insignifiantes, on peut mettre des épaisseurs considérables sans qu'il en résulte des excédants sensibles de dépense.

Digitized by Google

En résumé, pour ce qui concerne les tuyaux de plomb, nous ne pouvons que renvoyer aux divers documents pratiques contenus dans cet ouvrage.

91. La tôle, par sa résistance beaucoup plus considérable que celle de la fonte, quatre fois environ, par la facilité qu'elle offre de donner des tuyaux d'une épaisseur sensiblement uniforme, paraît convenir parfaitement à cet emploi, et devoir y donner une grande économie. Mais il fallait pour cela vaincre deux grandes difficultés : l'oxydation par le contact de l'eau et des terres, et le mode d'assemblage. C'est à quoi est parvenu M. Chameroy, dont l'industrie est brevetée; nous nous bornerons à donner quelques notions sur les procédés de fabrication, qui ne pourront être employés par d'autres industriels jusqu'au moment de l'expiration des brevets.

La tôle est plombée, et ensuite rivée et soudée sur une suture longitudinale; on étend sur la surface intérieure un vernis composé de bitume et de cire, et on enveloppe la surface extérieure d'une couche de bitume de même nature que celui des trottoirs, et d'une épaisseur de 1 à 2 centimètres, suivant le diamètre des tuyaux. L'adhérence entre cette couche et le tuyau est produite à l'aide d'une ficelle enroulée. Ce bitume a pour effet non-seulement de préserver la tôle de l'oxydation, mais de lui donner une certaine rigidité qui empêche la déformation du tuyau, soit par suite de la pression des terres, soit par suite des manœuvres qu'exigent le transport et la pose.

Ces tuyaux, légèrement coniques, se terminent par des écrous et des pas de vis en métal fusible qui servent à les assembler entre eux. On les garnit, avant le serrage, d'une composition de plombagine et de graisse de porc, et l'on interpose entre leurs bourrelets un morceau de corde imprégnée de peinture au minium. Le joint, parfaitement étanche, se démonte facilement, même après un grand nombre d'années. Des portions de ces conduites, posées depuis plus de douze ans, ont été reconnues dans un parfait état de conservation. On doit donc considérer la tôle comme devant jouer un jour un grand rôle dans les distributions. On le concevra facilement en comparant les épaisseurs de tôle et de fonte employées pour les divers diamètres de tuyaux.

Digitized by Google

Diamètres..	m 0,081	m 0,108	m 0,135	m 0,162	m 0,19	m 0,216	m 0,25	m 0,30	m 0,50
Fonte.....	mm 9,5	mm 10	mm 10	mm 10,5	mm 11	mm 11,5	mm 12	mm 13	mm 16
Tôle.....	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	3,1

On voit que, pour les petits diamètres, l'épaisseur de la tôle n'est que le dixième de celle de la fonte. On doit, du reste, considérer ces dimensions comme des maxima que l'expérience pourra réduire; c'est ainsi, en effet, que procède une industrie qui débute; la crainte d'un échec, que le public attribuerait à une tout autre cause, lui fait exagérer des précautions que l'expérience lui apprend par la suite à renfermer dans de justes limites. Quoi qu'il en soit, on voit que l'emploi de la tôle dans la construction des tuyaux apporte une grande économie de matière. Quant à l'économie d'argent, il ne faudrait pas la calculer sur celle de la matière, parce que dans ces tuyaux les frais de fabrication sont beaucoup plus considérables que pour la fonte, et que l'inventeur s'est probablement réservé un assez grand bénéfice; d'après ses tarifs, que nous donnons plus loin, l'économie est encore de 30 à 40 pour 100.

92. Nous n'avons considéré jusqu'à présent que l'extension des conduites dans un plan perpendiculaire à l'axe; dans quelques positions exceptionnelles, elles ont à résister à un effort dans le sens de leur longueur, effort d'autant plus dangereux qu'il tend à ouvrir les joints, et quelquefois à déplacer les conduites. Considérons, par exemple, le branchement BD, perpendiculaire à la conduite AC et fermé par une plaque pleine. La pression sur cette plaque, agissant dans le sens BD, sera évidemment $\frac{1}{4}\pi D^2 P$, et par conséquent la section de la paroi du tuyau πDe sera soumise à une tension par mètre :

$$T = \frac{PD}{4e},$$

qui est précisément la moitié de la tension suivant la section circulaire. Si la conduite est noyée dans le sol, cette tension longitudinale ne se fera sentir que sur les tuyaux situés près de l'extrémité D, les autres étant retenus par le frottement; mais si elle est en galerie portée sur des consoles, elle pourra s'étendre beaucoup plus loin. Certains tuyaux sont donc exposés à subir une tension longitudinale égale à la moitié de la tension

Digitized by Google

transversale; or, c'est là une circonstance qui réduit évidemment la résistance du métal. Nous ne connaissons aucune expérience qui ait été faite jusqu'à présent pour déterminer les coefficients de rupture des métaux sous des efforts perpendiculaires; nous ne pouvons donc que signaler le danger et faire voir qu'il y a là une nouvelle cause d'augmentation d'épaisseur. Il va sans dire, du reste, que cette tension longitudinale se trouve augmentée dans une certaine mesure et de la même manière que la tension transversale par les coups de bélier provenant d'arrêts d'eau trop brusques. Mais nous ne reproduirons pas ici des calculs qui ne sauraient conduire à des résultats pratiques. Nous nous bornerons à appeler l'attention des ingénieurs sur les déplacements et les soubresauts dans les conduites qui peuvent résulter de ces coups de bélier.

A l'état de repos ou de mouvement régulier, la conduite ABC est sollicitée à se séparer de la conduite BD par une force égale $\frac{1}{4}\pi D^2 P$. La liaison entre les conduites, qui résulte des joints à bride ou emboîtement, du frottement des appuis sur lesquels reposent les conduites, suffira sans doute pour maintenir l'équilibre; mais si l'on imagine que, l'eau étant en mouvement, on ferme brusquement un robinet en R, il y aura en B′ une réaction violente qui tendra à transporter la conduite ABC parallèlement à elle-même en la séparant de la conduite BD. On devra donc, si cette conduite est en galerie, la maintenir par de forts colliers aux environs du point B; en terre même, il ne serait pas inutile d'avoir un petit pieu ou de la maçonnerie en B′. Sur la conduite BD, le coup de bélier aurait de même pour effet d'allonger la conduite, par conséquent d'ouvrir les joints. Si l'on arrête l'extrémité D par un point fixe, la conduite tendra à s'infléchir pour prendre de la longueur, mouvement auquel on devra s'opposer au moyen de colliers, si la conduite est en galerie. Un effet analogue se produit dans les coudes (fig. 37), dans tous les changements de direction; il y a donc des précautions spéciales à prendre, toutes les fois qu'on ne peut compter sur la résistance du sol, pour maintenir les conduites dans leur position normale.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

DE L'ÉCOULEMENT LIBRE DE L'EAU DANS LES RIGOLES ET AQUEDUCS.

93. Les distributions d'eau sont souvent alimentées par des aqueducs, rigoles ou canaux dans lesquels l'eau coule sans être forcée, en vertu de la pente du fond ou de celle qui s'établit à la superficie. C'est un moyen très-économique, surtout lorsqu'il s'agit de grandes quantités; la paroi n'ayant d'autre charge à supporter que celle qui résulte de la hauteur de l'eau dans la rigole, il suffit d'établir ces rigoles en maçonnerie, ou même de les creuser en terre pour n'avoir pas de filtration. Nous parlerons plus loin de leur construction, traitons d'abord la question théorique.

Le mouvement de l'eau dans ces rigoles ou canaux peut être considéré comme un cas particulier de celui des tuyaux. Imaginons au-dessus de la rigole une cuvette symétrique à celle qui existe au bas (fig. 38), et nous aurons un tuyau dans lequel l'eau coulera comme si la ligne de charge était son arête supérieure. Nous pourrons donc appliquer à ce mouvement la formule :

$$i = \frac{H}{L} = \frac{\chi}{\omega}(\alpha u + \beta u^2),$$

qui nous fait voir que la vitesse ne change pas quand on double à la fois la section et le périmètre. Un canal ou une rigole peuvent donc être considérés comme des demi-tuyaux.

Les tuyaux sont toujours d'une section circulaire; c'est celle qui est la plus avantageuse pour le débit et pour leur établissement; l'on n'aurait recours à d'autres sections que dans des cas exceptionnels où l'espace manquerait. Les rigoles, au contraire, affectent des formes polygones, parce que ces formes sont celles qui conviennent le mieux à la nature des matériaux qui les composent. En général, la section mouillée est un trapèze dont les dimensions peuvent varier entre certaines limites, au gré de l'ingénieur. Il doit donc les déterminer de manière à satisfaire le mieux possible aux diverses conditions qui lui sont imposées par les circonstances locales.

Digitized by Google

94. Si l'on compare entre elles deux rigoles donnant écoulement à des volumes Q et Q′, avec des pentes i et i', et des périmètres χ et χ', on aura, en ayant égard aux relations $\omega u = Q$, $\omega' u' = Q'$:

$$\frac{\chi Q' i'}{\chi' Q i} = \frac{\alpha u'^2 + \beta u'^3}{\alpha u^2 + \beta u^3} = \frac{u'^3}{u^3}\left(\frac{1+\frac{\alpha}{\beta u'}}{1+\frac{\alpha}{\beta u}}\right).$$

α n'étant que le vingtième de β, le dernier facteur du second membre de l'équation précédente ne saurait différer sensiblement de l'unité dans les cas pratiques, et par conséquent on peut écrire :

$$\frac{u'}{u} = \sqrt[3]{\frac{\chi Q' i'}{\chi' Q i}};$$

d'où il résulte que les vitesses de l'eau dans deux rigoles sont entre elles en raison composée directe des racines cubiques des volumes et des pentes, et en raison inverse des racines cubiques des périmètres; que, par conséquent, de légères variations dans le volume, le périmètre et la pente d'une rigole n'ont qu'une influence insensible sur la vitesse de l'eau. S'il s'agit, par exemple, d'une rigole déterminée, dans laquelle il ne peut y avoir de variable que le volume de l'eau, on aura :

$$\frac{u'}{u} = \sqrt[3]{\frac{\chi Q'}{\chi' Q}}.$$

χ croissant avec Q, on voit que, dans ce cas, les vitesses sont entre elles dans un rapport encore moindre que les racines cubiques des volumes; un volume huit fois plus fort ne donnerait pas une vitesse double. La vitesse de l'eau dans une rigole peut donc être considérée comme constante par rapport à de petites variations de volume.

Si l'on compare la vitesse d'un même volume Q s'écoulant dans deux rigoles différentes, on trouvera :

$$\frac{u'}{u} = \sqrt[3]{\frac{\chi i'}{\chi' i}};$$

et on en conclura de même que les vitesses sont dans un rapport un peu plus grand que les racines cubiques des pentes, parce que les périmètres décroissent quand les pentes augmentent.

On peut arriver aux mêmes conclusions en déterminant les relations qui existent entre les variations des quantités contenues dans les équations

$$Q = \omega u, \quad i = \frac{\chi}{\omega}(\alpha u + \beta u^2). \qquad (39)$$

Digitized by Google

On en déduit en effet, en négligeant les variations du terme qui contient la première puissance de u :

$$\frac{d\omega}{\omega}+\frac{du}{u}=\frac{dQ}{Q},\quad \frac{di}{i}+\frac{d\omega}{\omega}=\frac{d\chi}{\chi}+\frac{2du}{u},$$

et

$$\frac{du}{u}=\frac{1}{3}\left(\frac{di}{i}+\frac{dQ}{Q}-\frac{d\chi}{\chi}\right). \tag{40}$$

Cette dernière équation démontre que les augmentations relatives de la vitesse ne sont que du tiers de celles de la pente et du volume, diminuées de celle du périmètre. Si l'on avait un volume donné à faire écouler, on aurait :

$$\frac{du}{u}=-\frac{d\omega}{\omega}=\frac{1}{3}\left(\frac{di}{i}-\frac{d\chi}{\chi}\right).$$

Si, sans déterminer la surface de la section, on avait fait choix de sa figure et qu'il ne restât qu'à en fixer les dimensions, proportionnelles à la racine carrée de ω, on aurait :

$$\frac{d\chi}{\chi}=\frac{1}{2}\frac{d\omega}{\omega},$$

et

$$\frac{du}{u}=-\frac{d\omega}{\omega}=\frac{2}{3}\frac{di}{i};$$

c'est-à-dire que la vitesse et la section varient beaucoup plus lentement que la pente. Si la pente augmente d'un dixième, la vitesse ne croît et la section ne décroît que de 4 centièmes.

S'il s'agit d'un canal déterminé dans lequel il survient des variations de volume, on a :

$$\frac{du}{u}=\frac{1}{3}\left(\frac{dQ}{Q}-\frac{d\chi}{\chi}\right)=\frac{1}{2}\left(\frac{d\omega}{\omega}-\frac{d\chi}{\chi}\right);$$

ce qui démontre que les variations de vitesse seront toujours très-faibles, comparées à celle du volume. Si le volume croît d'un dixième, par exemple, la vitesse ne croîtra pas d'un trentième, car il faudra déduire de ce rapport l'augmentation de celui du périmètre.

Lorsqu'on connaît trois des quantités i, χ, ω, u, Q, on détermine facilement les trois autres par les équations (39). En négligeant le coefficient α, et supposant la forme de la section ω déterminée, c'est-à-dire qu'il ne s'agit que de figures semblables pour lesquelles $\omega=m\chi^2$, il vient :

$$\chi^5=\frac{\beta Q^2}{m^2 i}=\frac{0,14\,L}{m^2\,H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2, \tag{41}$$

Digitized by Google

formule analogue à celle qui donne le diamètre d'une conduite et qui peut se calculer de la même manière.

95. Si nous appliquons ces calculs et ces formules au cas du rectangle, qui est la figure adoptée pour la plupart des aqueducs, on aura pour un même débit, en appelant h et h' les hauteurs de l'eau dans deux aqueducs ayant la même largeur $2l$ et des pentes i et i' :

$$\frac{u'}{u}=\sqrt[3]{\frac{(l+h)\,i'}{(l+h')\,i}};$$

mais

$$lhu=lh'u'=Q;$$

donc

$$\frac{u'}{u}=\sqrt[3]{\frac{l+h}{l+h\frac{u}{u'}}\left(\frac{i'}{i}\right)};$$

d'où

$$\frac{u'}{u}=\sqrt[2]{\frac{l+h}{l\frac{u}{u}+h}\left(\frac{i'}{i}\right)}.$$

La première équation démontre que lorsque i' ne diffère pas beaucoup de i, ou que h est petit par rapport à l, les vitesses sont entre elles comme les racines cubiques des pentes; lorsque h est grand par rapport à l, les vitesses sont comme les racines carrées des pentes. Pour des valeurs intermédiaires, ce rapport serait déterminé d'une manière assez exacte pour la pratique, en remplaçant dans la dernière équation le terme $l\frac{u'}{u}$ par $l\left(\frac{i'}{i}\right)^{\frac{1}{2}}$, ce qui donnerait :

$$\frac{u'}{u}=\sqrt[2]{\frac{(l+h)\,i'}{li'^{\frac{1}{2}}\,i^{\frac{1}{2}}+hi}}.$$

Si nous déterminons maintenant les relations qui existent entre les variations des divers éléments d'un aqueduc rectangulaire, au moyen des équations (39) et de

$$\omega=2lh \text{ et } \chi=2(l+h),$$

nous aurons :

$$\frac{d\omega}{\omega}=\frac{dl}{l}+\frac{dh}{h},\quad \frac{d\chi}{\chi}=\frac{dl+dh}{l+h},$$

$$\frac{di}{i}+\frac{h}{l+h}\frac{dl}{l}+\frac{l}{l+h}\frac{dh}{h}=\frac{2du}{u},$$

$$\frac{dl}{l}+\frac{dh}{h}+\frac{du}{u}=\frac{dQ}{Q}.$$

Digitized by Google

Pour apprécier l'influence des quantités qui entrent dans ces équations, on peut faire diverses hypothèses.

S'il s'agit de faire écouler un volume d'eau déterminé dans une rigole donnée, on a : $Q = \text{const.}$, $l = \text{const.}$, et on tire des équations précédentes :

$$\frac{du}{u} = \frac{l+h}{3l+2h}\frac{di}{i} = -\frac{dh}{h}.$$

On voit que l'influence de la pente est d'autant plus faible que la hauteur de l'eau sur le radier est moins considérable. Ainsi, une augmentation de pente de un 10me ne donne qu'une augmentation de un 30me dans les basses eaux; elle sera plus considérable dans les eaux moyennes : pour $l = h$, un 25me; mais elle ne s'élèvera jamais à un 20me. La hauteur de l'eau sur le radier suit la même loi que la vitesse, c'est-à-dire qu'elle diminue très-peu quand la pente augmente. Peut-être s'est-on exagéré l'effet de la pente dans la construction de quelques rigoles.

Supposons maintenant i et l constantes, c'est-à-dire que la rigole est construite, l'influence réciproque de la vitesse, du volume débité et de la hauteur sur le radier est donnée par les équations :

$$\frac{du}{u} = \frac{l}{3l+2h}\frac{dQ}{Q} = \frac{1}{2}\frac{l}{l+h}\frac{dh}{h}.$$

Si h est très-petit, l'augmentation de volume agit sur la vitesse comme l'augmentation de pente, c'est-à-dire que les augmentations sont entre elles comme 1:3. Si $h = l$ elles deviennent comme 1:5; si h devient très-grand, la vitesse devient constante. Quant à l'accroissement de hauteur sur le radier, il augmente avec celui du volume dans le rapport de 2 à 3.

Lorsque le volume et la pente sont constants, on a :

$$\frac{du}{u} = \frac{l-h}{2l+3h}\frac{dh}{h} = \frac{h-l}{3l+2h}\frac{dl}{l}.$$

Ces équations font voir que tant que h est plus petit que l la vitesse croît avec h, mais que ses accroissements sont de moins en moins rapides; u est un maximum pour $l = h$, u décroît ensuite avec h. Ainsi, lorsqu'on veut avoir le maximum de vitesse dans un rectangle, il faut lui donner une largeur double de sa hauteur; il est alors la moitié du carré qui lui-même donnerait la section *rectangulaire* la plus avantageuse pour une conduite forcée. Le cercle étant la surface qui donne le minimum pour l'expres-

Digitized by Google

sion $\frac{\chi}{\omega}$, présente d'une manière absolue la section la plus avantageuse; on ne peut donc avoir dans une rigole, quelle que soit sa section, de vitesse plus grande que celle qui aurait lieu dans le demi-cercle.

De l'équation (41) on tire pour le cas du rectangle :

$$2^5(l+h)^5=\beta\frac{Q^2}{m^2 i},$$

en faisant $l=nh$, mettant pour m sa valeur $\frac{Q}{\chi^2}=\frac{n}{2(1+n)^2}$, et se rappelant que le diamètre de la conduite forcée est donné par l'équation $D^5=\frac{L}{H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2$, il vient :

$$h^5=\frac{1+n}{4n^3}\beta\frac{L}{H}Q^2=0{,}035\left(\frac{1+n}{n^3}\right)\frac{L}{H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2=0{,}035\left(\frac{1+n}{n^3}\right)D^5. \qquad (42)$$

La hauteur de la rigole se trouve ainsi déterminée par une formule semblable à celle qui donne le diamètre de la conduite forcée équivalente, et peut se calculer de la même manière au moyen des tables.

96. Si l'on compare entre elles les vitesses de l'eau et les dimensions des divers systèmes de conduites qu'on peut adopter pour la transporter entre deux points donnés, on arrive à des résultats qu'il est bon de connaître.

Soient : D, le diamètre de la conduite forcée,
D', le diamètre de la rigole formant demi-cercle,
h, la hauteur du rectangle,
$2nh$, sa base,
v, u', u, les vitesses correspondantes à ces diverses sections.

On aura :

$$\frac{(1+n)}{nh}(\alpha u+\beta u^2)=\frac{4}{D}(\alpha v+\beta v^2)=\frac{4}{D'}(\alpha u'+\beta u'^2)\ [1].$$

$$2nh^2u=\frac{1}{4}\pi D^2 v=\frac{1}{8}\pi D'^2 u'.$$

[1] Dans tous ces calculs comparatifs entre les sections des tuyaux et les sections des aqueducs ou rigoles, nous n'avons pas hésité à admettre que les coefficients α et β sont les mêmes, quoique certainement ils soient différents. Il est d'usage en hydraulique d'admettre deux valeurs pour ces coefficients, suivant qu'on les applique à des tuyaux ou à des canaux artificiels :

Pour les conduites on admet les coefficients de Prony... $\alpha=0{,}0000173$; $\beta=0{,}000348$
Pour les canaux, ceux d'Eytelwein..... $\alpha=0{,}0000340$, $\beta=0{,}000360$

Nous avons exposé, dans nos *Études sur le mouvement des eaux courantes*, les motifs qui nous

Digitized by Google

De ces équations on tire facilement (en négligeant α par rapport à β quand ces coefficients se trouvent à la fois au numérateur et au dénominateur) :

$$h=\frac{1}{2}D\sqrt[5]{\frac{(1+n)4\pi^2}{8n^3}}=\frac{D'}{4}\sqrt[5]{\frac{(1+n)\pi^2}{n^3}},\quad D'=D\sqrt[5]{4}=1,32D, \qquad (43)$$

$$u=v\sqrt[5]{\frac{2n\pi}{(1+n)^2}}=u'\sqrt[5]{\frac{n\pi}{(1+n)^2}},\quad u'=v\sqrt[5]{2}=1,15\,v. \qquad (44)$$

Si l'on fait $n=1$, ce qui donne le rectangle de plus grande vitesse, on a :

$$h=0,60\,D=0,454\,D'$$
$$U=1,09\,v=0,945\,u'.$$

Pour déterminer la section d'une rigole ou d'un aqueduc, on peut donc calculer d'abord le diamètre de la conduite forcée, qui aurait le même débit, et déduire ensuite par les formules précédentes la hauteur du rectangle équivalent, qui est égale à 0,60 D, quand ce rectangle doit former un double carré; on prendrait $D'=1,32D$, si l'on voulait que la rigole fût un demi-cercle. Enfin, pour un rectangle de forme déterminée, la hauteur h est donnée par les formules précédentes, ou par les équations (42) et (43). On remarquera que la vitesse de l'eau, plus faible dans le rectangle double carré que dans la conduite demi-circulaire, est plus considérable que dans la conduite forcée. Cette différence disparaîtrait, il est vrai, pour d'autres sections moins avantageuses à la vitesse. Si dans la formule (44) on fait $n=\frac{1}{2}$, ce qui donne une section carrée, on a :

$$u=v\sqrt[5]{\frac{4}{9}\pi}=1,07\,v;$$

C'est-à-dire que la vitesse est à peine diminuée de 2 pour 100; pour qu'elle devînt ce qu'elle serait dans la conduite forcée, il faudrait qu'on eût :

$$\frac{2n\pi}{(1+n)^2}=1,\quad \text{ou } n=2,14\pm1,89,$$
$$\text{ou } n=4,03,\quad n=0,25.$$

Il faudrait donc que le canal eût une base égale à huit fois sa hauteur,

paraissent devoir faire considérer ces coefficients comme très-inexacts, surtout en ce qui concerne les canaux artificiels. Dans l'état de la science, et surtout lorsqu'il ne s'agit que de principes généraux, notre hypothèse nous a paru d'autant plus admissible que les formules que nous donnons ne contiennent jamais que les rapports entre ces coefficients élevés à des puissances fractionnaires.

Digitized by Google

ou à la moitié de sa hauteur ($2l = 2nh$). Dans les sections ordinaires des aqueducs, la vitesse de l'eau est donc plus grande qu'elle ne le serait dans la conduite forcée équivalente, et par conséquent la section mouillée est plus petite. Les formules précédentes donnent le moyen de la calculer exactement.

On remarquera que la vitesse est la même quand le rapport n se change en $\frac{1}{n}$; c'est une conséquence de ce que nous avons déjà dit qu'une rigole est un demi-tuyau. Or, il y a deux manières de prendre la moitié d'un rectangle à côtés inégaux, par des droites parallèles à ces côtés (fig. 39). Ainsi les aqueducs ABCD, A'B'C'D', quoique de formes très-différentes, sont équivalents en débit, en section, en vitesse, parce qu'en les doublant on obtient deux rectangles égaux.

De l'ensemble des calculs que nous venons de faire on doit conclure qu'en général le rapport entre la hauteur et la base du rectangle n'a que très-peu d'influence sur la vitesse de l'eau, et qu'on peut presque toujours les altérer pour satisfaire à d'autres convenances. Cependant, il est bon de pouvoir se rendre compte des dimensions qu'on adopte pour ne pas faire de contre-sens dans les proportions; car, quelque faible que soit un avantage, il ne faut y renoncer que contre une compensation au moins équivalente. C'est par ce motif que nous croyons devoir présenter encore quelques calculs relatifs au trapèze, quoiqu'il soit bien évident qu'on ne peut trouver dans cette figure des conditions beaucoup meilleures que dans le rectangle.

97. Soient : l la demi-largeur du plafond (fig. 38),
h la hauteur d'eau sur ce plafond,
φ l'angle du talus avec la verticale,

nous aurons :

$$\chi = 2\left(l + \frac{h}{\cos\varphi}\right), \quad \omega = 2lh + h^2 \operatorname{tang}\varphi, \quad \omega u = Q.$$

Il résulte de l'équation (40) que, pour Q et i constants, on a :

$$\frac{du}{u} = -\frac{1}{3}\frac{d\chi}{\chi}, \quad \frac{d\omega}{\omega} + \frac{du}{u} = 0.$$

On doit donc avoir, pour que la vitesse u soit un maximum :

$$d\chi = 0, \quad d\omega = 0.$$

On peut prendre arbitrairement une des trois quantités l, h, φ, qui dé-

Digitized by Google

terminent le trapèze, la supposer par exemple donnée par des convenances étrangères à l'écoulement de l'eau, et déterminer les deux autres par la condition $d\chi = o$, $d\omega = o$.

Soit d'abord l'angle φ donné, nous aurons :

$$\cos\varphi\, dl + dh = o, \qquad ldh + hdl + \operatorname{tang}\varphi\, hdh = o;$$

d'où nous tirerons :

$$l + h \operatorname{tang}\varphi = \frac{\cos\varphi}{h};$$

c'est-à-dire que la largeur de la rigole au niveau de l'eau doit, dans ce cas, être égale à la longueur du talus. Ainsi, pour une inclinaison donnée du talus BC (fig. 40), on aurait les trapèzes BCMN, BC'M'N', BC''M''N'' pour demi-sections, suivant l'importance du débit. Dans le cas où la ligne BC serait verticale, on aurait le rectangle double carré; si elle avait l'inclinaison du côté de l'hexagone, le trapèze serait la moitié de ce polygone régulier (fig. 41).

Si la largeur l est donnée, on a :

$$dh = -h \operatorname{tang}\varphi d\varphi, \quad 2ldh + 2h \operatorname{tang}\varphi dh + \frac{h}{\cos^2\varphi} d\varphi = o,$$

et en mettant dans la seconde équation la valeur de dh tirée de la première :

$$2l \sin\varphi \cos\varphi + 2h \sin^2\varphi = h,$$
$$2l \sin\varphi \cos\varphi = h(\cos^2\varphi - \sin^2\varphi),$$
$$\operatorname{tang} 2\varphi = \frac{h}{l}.$$

On voit que plus la largeur $2l$ au fond est grande, plus le talus doit s'approcher de la verticale.

Si la hauteur h est donnée, on a :

$$dl = -\frac{h \sin\varphi d\varphi}{\cos^2\varphi}, \quad 2hdl + \frac{h^2}{\cos^2\varphi} d\varphi = o;$$

d'où l'on tire : $$\sin\varphi = \frac{1}{2}.$$

C'est l'angle qui fait avec la verticale le côté du demi-hexagone. Cette figure est donc celle du maximum de vitesse, lorsque ni l ni h ne sont donnés, car nous avons vu plus haut que lorsque h et l sont indéterminés, ces dimensions doivent avoir la relation qui existe dans l'hexagone pour que la vitesse soit la plus grande possible. On calculerait facilement la vitesse v'' qui a lieu dans l'hexagone. En effet, de

Digitized by Google

$$\frac{1}{8}\pi D'^2 u' = \frac{3}{8}\sqrt{3}\, D''^2 v'', \quad v'' = u' \sqrt[3]{\frac{\pi D'}{3 D''}}$$

on déduit : $$v'' = u' \sqrt[6]{\frac{1}{6}\sqrt{3}\,\pi} = 0{,}98 u'.$$

L'hexagone donne donc une perte de 2 pour 100 sur la vitesse qui a lieu dans le demi-cercle, et par conséquent, d'après ce que nous avons vu plus haut, une augmentation de 4 pour 100 environ sur le rectangle doublé carré.

98. Lorsque le volume à conduire est variable, et qu'on désire avoir le plus de vitesse à toute hauteur, il est évident que l'écoulement doit se faire entre deux talus ; on a $l = o$, et l'équation,

$$2l \sin\varphi \cos\varphi = h(\cos^2\varphi - \sin^2\varphi)$$

donne alors : $$\cos\varphi = \sin\varphi = \frac{1}{2}\sqrt{2};$$

c'est-à-dire que l'angle compris entre les deux droites formant talus est droit (fig. 42). C'est la section qui conviendrait évidemment aux égouts, si d'autres considérations ne faisaient pas sentir la nécessité de donner une certaine largeur au radier. Il est évident que dans cet angle l'eau prendrait la vitesse due à la forme carrée, puisque, quel que fût son niveau, la section mouillée serait un demi-carré ; de sorte que la vitesse y deviendrait : 1,07 v, c'est-à-dire de 7 pour 100 plus grande que dans la conduite forcée, mais de 8 pour 100 plus faible que dans le demi-cercle, attendu qu'on a : $u' = 1{,}15u$.

99. En résumant les divers résultats que nous venons d'obtenir, nous trouvons que si v est la vitesse dans la conduite forcée de même débit :

La vitesse maximum qui a lieu dans la conduite libre demi-circulaire est.	1,15 v
La vitesse qui a lieu dans l'hexagone est..	1,13 v
La vitesse dans le double carré est.	1,09 v
La vitesse dans le carré est.	1,07 v
Dans le rectangle dont la hauteur est 1/8 de la base ou 2 fois la base. . .	v

Dans des rectangles plus plats ou plus droits que ceux donnés par cette dernière proportion, la vitesse est plus petite que v.

Les formules précédentes nous paraissent résoudre tous les problèmes auxquels peut donner lieu l'établissement d'une rigole ou d'un aqueduc, dans le cas où la pente et la section de cet ouvrage, ainsi que le volume des eaux, seraient constants. Lorsque ces quantités n'éprouveront que de

Digitized by Google

légères variations, ou lorsqu'on voudra se contenter d'une approximation presque toujours suffisante pour la pratique, on pourra représenter la ligne d'eau par une série de lignes parallèles au fond de l'aqueduc prolongées jusqu'à leur rencontre, en raccordant ensuite les angles par des courbes ayant leur origine aux points de variations de la pente de la section ou du volume (fig. 43). Si les changements de pente, de section ou de volume étaient très-considérables, il faudrait avoir recours à l'équation du mouvement varié, qui résout le problème d'une manière complète, ainsi que nous l'avons fait voir dans le chapitre II de nos *Etudes sur le mouvement des eaux courantes;* nous ne pouvons qu'y renvoyer pour les cas fort rares où les distributions d'eau pourraient fournir des applications des formules contenues dans cet ouvrage.

Il résulte des notions théoriques exposées dans ce chapitre, que les circonstances du mouvement de l'eau dans les aqueducs se déterminent par les mêmes formules que dans les tuyaux. En adoptant, par exemple, pour section un demi-cercle, on obtient un aqueduc qui se comporte exactement comme un tuyau qui conduirait un volume double. Cette figure est la section minimum ou de plus grande vitesse, mais les autres sections ne présentent que de légères différences avec celle-là, et le calcul les détermine facilement. Il n'y a pas, mathématiquement parlant, d'aqueduc qui ne puisse être remplacé par un tuyau, il n'y a pas de tuyau qui ne puisse être remplacé par un aqueduc; le choix entre les deux systèmes de conduite repose sur des considérations qui feront l'objet du chapitre suivant.

Digitized by Google

CHAPITRE X.

DE L'ÉTABLISSEMENT DES RIGOLES, DES AQUEDUCS, DES GALERIES. — DES CIRCONSTANCES OU LES AQUEDUCS ET RIGOLES DOIVENT ÊTRE PRÉFÉRÉS AUX CONDUITES FORCÉES. — DES PONTS-AQUEDUCS. — DES PONTS A SIPHON. — DES PIERRÉES. — DES ÉGOUTS.

100. Lorsqu'il s'agit d'amener une certaine quantité d'eau au moyen d'une rigole ou aqueduc, la première question à résoudre est de déterminer la pente de cet ouvrage et la grandeur de la section mouillée. Si les points extrêmes de l'aqueduc sont déterminés, la grandeur de la section résulte immédiatement des formules du chapitre précédent. Mais il arrive souvent que les circonstances locales permettent de faire varier la pente entre certaines limites, et alors l'ingénieur doit se demander quelle est celle qu'il doit choisir pour son tracé.

Disons d'abord que quelques auteurs prétendent, et M. Genieys est du nombre, que la vitesse de l'eau dans une rigole ne doit jamais être moindre que $0^m,35$, pour y conserver sa salubrité. Cependant, sans contester que sous ce rapport la vitesse ne soit un avantage, nous croyons qu'on aurait grand tort de faire beaucoup de sacrifices pour l'obtenir. De l'eau qui n'aurait qu'une vitesse de $0^m,25$, parcourrait encore plus de 20 kil. par jour; si la rigole n'avait que cette longueur, ou deux, trois fois cette longueur, le passage de l'eau dans la rigole ne correspondrait qu'à un séjour de un, deux ou trois jours dans un réservoir, et nous ne voyons pas comment elle pourrait s'y corrompre dans un aussi court espace de temps, puisqu'on la conserve bien plus longtemps complétement stagnante dans des réservoirs. On peut donc admettre des vitesses bien inférieures à $0^m,35$, surtout dans les aqueducs. L'avantage le plus réel de la pente est de réduire la section de la rigole ou de l'aqueduc, et par conséquent sa dépense; mais nous avons vu plus haut que cet avantage ne se fait sentir que d'une manière insensible pour de légères variations de pente, puisqu'on a :

$$\frac{d\omega}{\omega} = -\frac{2}{5}\frac{di}{i}.$$

Digitized by Google

Ainsi, quand la pente augmente de 1/10, la section ne diminue que de 4/100; et, pour certaines formes de rigoles et d'aqueducs, cette diminution ne saurait apporter d'économie. Ajoutons que lorsqu'il s'agit de distribuer, au moyen de conduites forcées, l'eau amènée par un aqueduc, il faut augmenter le diamètre des conduites en raison de l'insuffisance de la charge, et que l'économie qu'on aurait pu avoir sur l'aqueduc, en augmentant sa pente, se trouve compensée par un excès de dépense sur les conduites. Le tracé d'un aqueduc sur le terrain dépendant de sa pente, il en résulte qu'en augmentant ou diminuant cette pente, on diminue ou on allonge le parcours, on évite certaines difficultés, etc., etc. On ne peut donc soumettre la question de la pente des aqueducs aux lois d'une formule algébrique. C'est une question éminemment complexe, comme celle de la pente des routes, des chemins de fer, etc.; pas plus que pour ces travaux, l'ingénieur ne doit s'assujettir à des limites de pente ou à des pentes uniformes. Dans toute l'étendue du parcours, la pente et la section doivent varier suivant le relief du terrain; cependant il va sans dire que toute variation de ces quantités étant par elle-même un inconvénient, il faut qu'elle soit toujours motivée par des considérations d'une certaine importance. Il ne faut pas perdre de vue que la question à résoudre est de conduire une certaine quantité d'eau d'un point à un autre avec le plus d'économie possible; or, c'est là un problème dont la solution varie suivant les circonstances locales; nous croyons donc devoir examiner avec quelques détails les divers systèmes qui peuvent être employés.

Il y a deux espèces de rigoles : celles dont les parois sont simplement en terre, et celles dont les parois sont en maçonnerie; ces dernières prennent plus ordinairement le nom d'aqueducs.

101. Les rigoles en terre ne peuvent convenir qu'à des distributions d'une certaine importance. Il nous paraît indispensable qu'elles aient une assez grande section, pour que le cours de l'eau ne soit interrompu ni par les herbes, ni par les dépôts, ni par les éboulements accidentels qui pourraient survenir. Elles ont besoin de curages fréquents; l'évaporation, l'imbibition, les filtrations leur font perdre une certaine quantité d'eau; il faut se réserver le long de leur bord de petits chemins d'exploitation; l'eau exposée aux ardeurs du soleil s'échauffe d'autant plus que sa masse est moins considérable. Lorsqu'il s'agit d'une grande quantité d'eau, tous ces inconvénients disparaissent devant l'économie qui résulte du système de

Digitized by Google

construction, attendu que les dépenses d'un aqueduc en maçonnerie sont souvent alors considérables. Mais lorsque, d'après les circonstances locales et les besoins à desservir, une très-faible section pourra suffire, il faudra presque toujours recourir à une rigole en maçonnerie ou même à un aqueduc couvert qui, disparaissant complétement sous le sol, mettra l'eau à l'abri de tous les inconvénients que nous venons d'énumérer. Nous ne voulons pas dire qu'il faille exclure les rigoles en terre des projets de distribution d'eau, nous faisons ressortir seulement qu'on doit en général les réserver pour les grandes masses d'eau. Ce motif est la cause de leur grand usage pour l'alimentation des canaux et pour les irrigations. Ainsi, lorsqu'il fut question de dériver de la rivière d'Ourcq 4,000° d'eau (80,000$^{m.c.}$ par jour) pour la distribution de Paris, on dut le faire au moyen d'une rigole que sa dimension rendait à peu près navigable : c'est ce qui détermina à en faire un canal de navigation. Il est vrai qu'à l'entrée de Paris cette rigole se transforme en aqueduc couvert sur 4,000^{m} de longueur; mais il est évident qu'ici ce sont les exigences particulières du tracé qui ont imposé l'emploi de ce système. Remarquons, en effet, que lorsque la rigole se trouve fortement en déblai, les talus exigent une grande surface, ce qui, dans les terrains bâtis, entraîne à des dépenses considérables. Il y avait de plus, dans Paris, la convenance de mettre l'eau de la distribution à l'abri de la malveillance, et de n'intercepter aucune communication.

Il résulte de ce que nous venons de dire que lorsqu'un projet de distribution comporte l'établissement d'un canal artificiel à surface libre, il y a lieu d'examiner d'abord si l'on fera une simple rigole en terre ou un aqueduc en maçonnerie, et de se décider, par la comparaison des dépenses, des avantages et des inconvénients.

Le tracé et la construction des rigoles en terre se rattachent plus spécialement aux travaux de navigation, dont elles sont presque toujours un accessoire essentiel; nous ne pourrions à ce sujet rien dire qui ne fût connu de tous les ingénieurs. Nous ne parlerons avec détail que des aqueducs en maçonnerie, parce que ces ouvrages, d'une construction plus rare, ont été de notre part l'objet d'études particulières, à cause de nos fonctions dans le service municipal de la ville de Paris.

102. De nombreux ouvrages ont traité de l'équilibre des constructions en maçonnerie; les voûtes des diverses formes, leurs culées, leurs pieds-droits ont été soumis aux calculs : on possède, à cet égard, des règles assez pré-

Digitized by Google

cises qui servent de guide aux ingénieurs; mais on ne s'est guère occupé du cas particulier où ces constructions se trouvent enfouies à des profondeurs plus ou moins considérables sous le sol. L'équilibre des murs de soutènement n'est qu'un cas particulier de la théorie de la poussée des terres. Les nombreux souterrains qu'exige aujourd'hui la construction des canaux et des chemins de fer offrent une application au moins aussi importante de cette théorie. Ce serait sortir du cadre de cet ouvrage que d'essayer de combler cette lacune; nous ne traiterons donc que la question des aqueducs qui, par leur destination, ont toujours des dimensions très-restreintes.

Ces aqueducs se composent toujours d'un radier, de deux pieds-droits, recouverts par une dalle lorsqu'ils sont étroits, et par une voûte lorsqu'ils ont une certaine largeur. Si nous imaginons une pareille construction élevée sur le sol, il faudra donner à toutes ses parties certaines dimensions, pour qu'elles ne tombent ni en dedans ni en dehors. On leur donnera encore ces dimensions si cette voûte, au lieu d'être sur le sol, se trouvait au milieu d'un remblai artificiel, parce que les terres de ce remblai seraient susceptibles de se tasser suffisamment pour que les pieds-droits venant à s'écarter, la voûte pût s'échapper entre les joints de rupture. C'est pour cela que, dans la construction des routes, des chemins de fer, etc., etc., on donne aux voûtes et aux pieds-droits des petits ponts qui traversent les remblais, les dimensions indiquées par les calculs d'équilibre, comme si ces ouvrages étaient au-dessus du sol. On ne tient pas compte de l'économie que pourrait apporter la considération de la poussée des terres. Cette économie ne serait pas d'ailleurs considérable, parce que ces ouvrages n'ont pas beaucoup d'étendue. Mais lorsqu'il s'agit de placer dans le sol des égouts, des aqueducs de plusieurs kilomètres de longueur, on comprend l'importance qu'il peut y avoir à ne donner aux maçonneries que l'épaisseur strictement nécessaire, et à choisir des sections parfaitement appropriées à toutes les convenances. En examinant celles de divers égouts et aqueducs, que nous reproduisons dans les planches de cet ouvrage, on reconnaîtra qu'on s'est souvent laissé guider par les règles d'équilibre applicables aux constructions extérieures, c'est-à-dire qu'on a donné les dimensions nécessaires pour qu'ils ne pussent pas se renverser au dehors, tandis qu'on aurait pu ne prendre que celles qui suffisent pour rendre impossible le renversement à l'intérieur.

En général, dans tout percement de galerie, on a un vide minimum

Digitized by Google

obligatoire. S'il s'agit d'un chemin de fer, d'un canal, il faut qu'un ou deux wagons, un ou deux bateaux puissent passer dans une certaine position par rapport à l'axe; s'il s'agit d'un égout ou d'un aqueduc, on a une section mouillée avec ou sans le passage d'un homme, debout ou courbé, à pied sec ou dans l'eau; en un mot, il y a un polygone de sujétion, qu'on enveloppe par une courbe d'intrados qui n'est soumise à d'autre condition que de donner le minimum de dépense dans la construction de la galerie. Quelquefois le polygone de sujétion n'est pas aussi déterminé que dans les cas que nous venons de considérer. S'il s'agit d'un égout, par exemple, et que les besoins de l'écoulement exigent $3^{m.c.}$ de section, et les besoins de curage et de réparation 2^{m} de hauteur minimum, il est clair qu'on pourra satisfaire à cette double condition par des rectangles de hauteur et de largeur bien différentes. Il importe donc de reconnaître quelles sont, en général, les formes types les plus économiques.

La dépense de la construction d'une galerie se compose de deux parties, la maçonnerie qui forme la paroi, et le déblai nécessaire pour établir cette maçonnerie. Considérons à part chacune de ces deux dépenses.

Nous l'avons déjà dit : une galerie souterraine ne peut pas se renverser à l'extérieur. Nous ne parlons pas du cas exceptionnel où le terrain dans lequel elle serait construite se trouverait meuble ou susceptible d'être miné par des courants d'eau; ce sont là des circonstances rares qui demandent des précautions particulières; mais, en général, le terrain que l'on rencontre est stable et peu compressible, de sorte que la surface de l'extrados de la galerie éprouve dans tout son développement une pression variable perpendiculaire à la surface. Si le massif de la galerie se trouve en équilibre par suite des dimensions données aux diverses parties de l'extrados, il est clair que sa surface extérieure n'éprouvera d'autre pression que celle qui s'exerçait sur le massif de terre qu'il a remplacé; car, à cause du vide de la galerie, son poids sera sensiblement égal à celui du massif terreux, et un renversement ne pourra survenir que vers l'intérieur. Admettons maintenant qu'on ait donné au périmètre de la galerie une épaisseur telle qu'elle pousse au dehors avec une énergie précisément égale à celle de la pression extérieure des terres, il y aura alors équilibre, quoique la construction, considérée isolément, ne se trouve pas dans cette condition. Or, il est facile de reconnaître que cette égalité d'action et de réaction se produit nécessairement, à moins que les terres ne soient

Digitized by Google

très-compressibles et que les rayons de courbure de l'intrados ne soient très-considérables.

Considérons un des cas les plus défavorables (fig. 44), une galerie composée de deux pieds-droits, d'une voûte en arc de cercle très-aplati et d'un radier rectiligne. Il est évident que de ce mode de construction résulte une poussée horizontale très-considérable sur le sommet des pieds-droits : si la galerie était taillée dans le roc, la pierre N formant culée ne serait pas obligée, pour trouver une réaction égale à la poussée Q, de reculer d'une quantité assez considérable pour que l'arc de la voûte pût se redresser complétement et passer entre les pieds-droits ; mais si la galerie est creusée dans un terrain plus mou, il pourra bien arriver que les naissances, en reculant, ne puissent provoquer de la part du terrain une réaction suffisante pour résister à la poussée, avant le moment où l'arc rectifié passera entre les pieds-droits : alors il y aura chute de la voûte. Ajoutons que cet accident sera presque toujours motivé par le déplacement du terrain plutôt que par sa compression ; la terre, refoulée par le recul des naissances, fera naître des pressions en dessus et en dessous, celles-ci chasseront les pieds-droits en dedans et tendront à leur donner une figure convexe à l'intérieur. Or, les terrains vierges sont peu compressibles, et les tassements des édifices sont plutôt le résultat du déplacement des terrains sur lesquels ils portent, que de leur compression. Nous aurions donc deux moyens de nous opposer à la chute de la voûte : arc-bouter les pieds-droits contre les terres, donner plus de flèche à la voûte, comme dans le tracé ponctué du côté droit de la fig. 44. Il est évident qu'alors nous arriverons nécessairement à trouver l'équilibre sans augmenter l'épaisseur des maçonneries. Par une flèche plus grande, nous diminuerons la poussée horizontale, et, en même temps, nous éloignerons la limite que peut atteindre le joint de rupture dans son reculement, sans qu'il y ait chute ou déformation de la voûte ; en arc-boutant les pieds-droits contre les terres, nous nous opposerons à un déplacement qui favoriserait le reculement des naissances.

Il suit de là qu'en donnant à la section intérieure d'une galerie une forme concave dans tout son périmètre, on pourra toujours arriver à la condition d'équilibre avec des épaisseurs de maçonnerie très-faibles. Pour soumettre ces formes à un calcul rigoureux, il faudrait connaître les pressions qui ont lieu sur la surface d'un solide enfoncé dans l'intérieur de la terre. Or, c'est là un problème d'analyse très-compliqué, et

Digitized by Google

qui ne pourrait être résolu qu'à l'aide d'une foule d'hypothèses sur le frottement, la cohésion des terres et l'élasticité du corps comprimé, c'est-à-dire sur des données qui, quant à présent, ne peuvent avoir leur expression en chiffres, et par conséquent intéresser beaucoup la pratique. Nous ferons remarquer seulement que la pression sur l'extrados d'une galerie ne dépend guère de sa profondeur sous le sol; on peut, en effet, concevoir que les terres supérieures tendant à glisser (fig. 45) sur les talus de plus grande poussée, CD et C'D', s'arc-boutent sur le plan vertical AB mené par l'axe de la galerie, de sorte que la partie BC puisse, même pour une certaine hauteur, variable suivant le degré de cohésion des terres, se passer de soutènement. On peut donc admettre qu'en général la pression due à la poussée est très-faible : cela est si vrai qu'on trouve dans les montagnes des cavernes naturelles d'assez grandes dimensions, et qu'on en établit souvent sans aucun revêtement dans des terrains qui présentent une certaine consistance. Nous parlons ici de la poussée naturelle qui aurait lieu si l'extrados de la galerie était un monolithe inflexible. Mais si la maçonnerie pousse au dehors, il est évident que les terres pousseront au dedans avec une énergie égale, réaction qui ne peut être que le résultat d'une certaine compression. Or, si les terres sont parfaitement maintenues, il ne pourra jamais résulter de cette compression une altération sensible dans la forme de la maçonnerie. Disons cependant que lorsque les galeries sont construites en tranchée, qu'on remblaye après leur achèvement, les terres qui chargent la voûte n'ont pas beaucoup de cohésion avec les parois de la fouille, et qu'il doit en résulter plus de pression sur la partie supérieure de la galerie que lorsque la voûte est construite en souterrain. Mais cette pression verticale ne fait que serrer les joints dans la voûte, et contribue à la stabilité des pieds-droits.

De ces considérations nous tirons cette conséquence : c'est que les ouvrages souterrains doivent être établis d'après d'autres principes que les ouvrages ordinaires de maçonnerie ; qu'en profitant de la réaction du terrain contre toute poussée extérieure, en donnant aux galeries des formes rationnelles, en faisant varier convenablement le rayon de courbure de la courbe de l'intrados [1], on peut réduire considérablement l'épaisseur des

[1] Si l'on ne consultait que l'équilibre de la construction, ce rayon de courbure devrait être réciproque à la pression normale ; alors la pression sur tous les joints serait constante et passerait par leur milieu. Mais l'ignorance où l'on est de l'intensité de cette pression, les convenances

Digitized by Google

maçonneries de ces sortes d'ouvrages. Ils doivent être, selon nous, des espèces de tuyaux d'une épaisseur à peu près constante dans le périmètre de la section et qui ne doit guère varier qu'avec son diamètre, c'est-à-dire que, dans certaines limites de section, la dépense de la maçonnerie est sensiblement proportionnelle au périmètre de la courbe d'intrados. La dépense des déblais ne suit pas exactement la même loi; mais, comme pour les galeries ordinaires elle n'est qu'une légère fraction de la dépense totale, on peut, comme approximation, généraliser le principe, surtout lorsqu'il ne s'agit que de tirer des conclusions générales.

Lors donc qu'on a besoin d'une section déterminée, il faut chercher à donner à la galerie une forme légèrement elliptique. L'exagération en hauteur serait une cause de surcroît de dépense, à moins qu'il ne s'agisse d'une tranchée très-profonde.

103. On peut diviser les aqueducs en trois espèces différentes, suivant leurs dimensions : ceux qui ne donnent passage qu'à l'eau, ceux qui ont assez de hauteur pour qu'un homme puisse les parcourir en se plaçant dans la cuvette, ceux qui étant munis de banquettes peuvent être parcourus à pied sec. Nous croyons devoir dire un mot sur chacun de ces systèmes, et sur les motifs qui peuvent déterminer l'ingénieur à donner la préférence à l'un à ou l'autre.

Les aqueducs qui donnent uniquement passage à l'eau sont évidemment les plus économiques. Si une section mouillée de $0^m,30$ sur $0^m,15$ ou $0^m,20$ suffit au débit, si la nature des eaux n'exige pas de curage soit par suite d'impureté, soit par suite de dépôts calcaires, si le tracé de la rigole n'est pas en grand déblai, il est évident que ce système sera le plus avantageux. En cas d'accident, au moyen des regards espacés sur toute l'étendue, on détermine entre quels points il y a eu soit un tassement, soit un éboulement, soit une perte; puis en fouillant au milieu entre deux regards, puis au milieu entre ces milieux et les extrémités, on finit nécessairement par découvrir la partie où des réparations sont nécessaires; cependant on doit comprendre que de légères avaries arrivées sur plusieurs points pourraient être très-

auxquelles on doit satisfaire, le mode et les difficultés de construction, obligent à donner à la galerie une forme différente. Il en résulte alors que la pression n'est plus constante dans tous les joints, qu'elle ne passe plus par leur milieu, que les uns tendent à s'ouvrir à l'intrados et les autres à l'extrados; mais ces derniers, ne pouvant le faire qu'en comprimant le terrain, déterminent une pression normale au point même où elle est nécessaire pour l'équilibre. Le terrain joue le rôle des cercles qui maintiennent les douves du tonneau.

Digitized by Google

longues à découvrir, et très-dispendieuses à réparer. Un enduit de ciment sur lequel on avait compté s'est exfolié et encombre le radier; de légères fissures, qui isolément n'ont pas grande importance, mais qui, répétées sur une grande longueur, ont pour résultat de faire perdre beaucoup d'eau, pourront donner lieu à des recherches très-longues, peut-être plus dispendieuses que les réparations elles-mêmes. Quoi qu'il en soit, ces petits aqueducs nous paraissent parfaitement convenir lorsque les quantités d'eau sont peu importantes.

Nous venons de dire que la pression en chaque point de la paroi est inconnue : il est néanmoins facile de reconnaître qu'elle doit être plus forte dans le sens vertical que dans le sens horizontal. La courbe d'équilibre doit donc affecter la forme d'une ellipse d'autant plus allongée que le terrain a plus de cohésion, et se rapprochant d'autant plus du cercle que le terrain est plus fluide.

On peut construire ces petits aqueducs en maçonnerie, en béton, en ciment, ou enfin leur substituer des tuyaux de poterie. Le choix entre ces divers modes dépend évidemment des circonstances et des ressources locales. Les épaisseurs à donner aux revêtements sont tellement faibles qu'elles échappent à tout calcul. Dans des sections aussi petites, il ne peut guère y avoir renversement à l'intérieur; le seul accident à craindre serait un tassement du sol, occasionné non pas par le poids de l'ouvrage, mais par des filtrations qui s'en échapperaient. Il serait donc dangereux d'établir ces aqueducs sur des remblais. Quant aux terrains vierges, c'est à l'ingénieur à apprécier sur place les précautions spéciales à prendre. Disons seulement que dans la plupart des cas le pilonage de la fouille suffira. Quant aux proportions à donner à la section mouillée, le chapitre précédent fait connaître ce qu'elles doivent être dans l'intérêt de la vitesse de l'eau, mais il est évident qu'on pourra les faire varier pour satisfaire à d'autres convenances. Beaucoup de pays offrent des matériaux très-propres à faire des dalles de recouvrement, ce qui dispense de voûter; on limitera alors la largeur à la dimension convenable pour utiliser ces matériaux et se dispenser de la construction d'une voûte. Si on ne veut pas recevoir les eaux du terrain traversé à cause de leur qualité, ces dalles devront être maçonnées entre elles. Il est avantageux que le radier de ces aqueducs, et surtout de ceux dont nous allons parler tout à l'heure, soit arrondi; non-seulement cette forme est favorable à la vitesse de l'eau,

Digitized by Google

mais elle facilite le nettoiement en cas de besoin. Un enduit de ciment, qu'on fait plus épais dans les angles, convient parfaitement à cet usage. Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails ; l'examen des planches où sont représentés divers aqueducs et les explications qui les accompagnent nous paraissent suffisamment compléter les considérations que nous venons d'exposer. Nous parlerons plus loin des dépenses.

104. Lorsque, par suite des exigences du nivellement, la fouille d'un aqueduc doit être descendue à une grande profondeur, le système précédent perd de ses avantages sous plusieurs rapports. En effet, supposons que dans la tranchée ordinaire de 1^m à 2^m de profondeur, le prix du petit aqueduc soit de 10 francs, il s'élèvera à 20 ou à 30 dans la partie du parcours où un grand déblai sera nécessaire ; il faudra alors, non-seulement approfondir la fouille, mais l'élargir et l'étayer pour que les hommes puissent descendre jusqu'au fond ; de là un énorme surcroît de dépense, qui sera le même pour le petit que pour le grand aqueduc ; de sorte que l'économie relative ne compensera plus les inconvénients que nous avons signalés plus haut, d'autant plus que la position de l'aqueduc les aggravera singulièrement ; ainsi les recherches des avaries qui pourraient arriver à d'aussi grandes profondeurs deviennent presque impossibles. Il faut donc, en général, que dans les fouilles profondes, l'aqueduc puisse être parcouru. Quelles dimensions sont nécessaires pour se procurer cet avantage ? L'exemple de l'aqueduc de Dijon (fig. 46), construit sous l'habile direction de M. Darcy, est là pour prouver que $0^m,90$ de hauteur sur $0^m,60$ de largeur suffisent parfaitement pour que la visite puisse se faire sans fatigue excessive. Il faut remarquer, en effet, qu'il ne s'agit pas d'une visite quotidienne ou même mensuelle ; il suffit que de temps en temps un homme muni d'une torche puisse examiner toutes les parties de l'aqueduc ; à l'aide des regards, il peut multiplier ses repos, diviser sa visite, etc., etc. ; le moyen terme pris par M. Darcy nous paraît donc parfaitement rationnel. Grâce à cette dimension, l'aqueduc de Dijon présente, pour la sécurité de la distribution, les mêmes avantages que les aqueducs des plus grandes dimensions ; les inconvénients qui lui restent sont pour ainsi dire une affaire de service, dont le public n'a pas à souffrir ; c'est une indemnité de deux à trois cents francs par an à donner au fontainier visiteur, qui, muni de bottes d'égouttier, doit le parcourir dans toute son étendue. Pour que cet aqueduc pût être facilement visité par un homme debout, il aurait fallu

Digitized by Google

donner aux pieds-droits un excédant de hauteur de 1^{m}, qui, d'après les dimensions adoptées, eût exigé un excédant de maçonnerie de 0$^{m.c.}$,80, et, avec les terrassements, entraîné à une dépense d'au moins 10 francs par mètre courant, soit de 140,000 francs pour la longueur de quatorze kilomètres. On comprend facilement que, pour une pareille économie, on se résigne à une gêne accidentelle.

Un autre avantage de ce système d'aqueduc, c'est qu'il peut conduire une quantité d'eau très-variable, tandis que les petits aqueducs seraient promptement dégradés, si la sous-pression de l'eau venait à soulever les voûtes ou les dalles qui limitent leur section. On remédie à cet inconvénient au moyen de déversoirs établis sur leur parcours, dans des endroits convenables. Les tuyaux en poterie, étant susceptibles de supporter une certaine pression sans se rompre, se prêtent plus que les petits aqueducs à conduire des quantités d'eau variables.

La dimension essentielle de cette espèce d'aqueduc est la hauteur : il est évident qu'en l'augmentant on facilite le parcours; ce n'est plus qu'une question de dépense. Cependant, il faut reconnaître qu'on y trouve aussi certains avantages qui ont plus ou moins d'importance, suivant les circonstances locales. En cas de réparation, un ouvrier ne pourrait qu'avec peine se servir de ses outils, transporter des matériaux, etc.; etc. Si les eaux déposent, si l'aqueduc a besoin d'être curé de temps en temps, on doit augmenter ses dimensions et prendre celles des égouts. Les figures 61 à 80 fournissent un grand nombre d'exemples d'égouts, d'aqueducs exécutés ou projetés, qui pourront servir de base aux études de l'ingénieur: Dans beaucoup d'anciens aqueducs, on a ménagé sur un côté, quelquefois sur les deux côtés, une banquette au moyen de laquelle on peut les visiter, réparer, nettoyer à pied sec. Il est évident que c'est là une commodité dont on doit tenir compte; mais on peut, en supprimant par la pensée la hauteur de la cuvette de celle des pieds-doits, savoir ce qu'elle coûte et comparer la dépense à l'importance du service rendu.

105. Qu'on nous permette, pour compléter ces considérations générales, de faire l'examen critique des profils des deux aqueducs construits dans l'intérieur de Paris.

En jetant un coup d'œil sur la section représentée par la fig. 47, on reconnaît de suite que l'ingénieur a complétement fait abstraction de la position souterraine de ces galeries, car les maçonneries ont une épaisseur

Digitized by Google

plus que suffisante pour l'équilibre, même dans le cas où elles seraient construites au-dessus du sol. Dans cet ordre d'idées, les retraites extérieures, en admettant qu'elles fussent nécessaires à la solidité des maçonneries, seraient encore des fautes; car, en élevant les pieds-droits verticalement à l'aplomb de la dernière retraite, on pouvait donner $0^m,20$ de plus à la largeur de la cuvette d'eau et à la banquette de halage, sans diminuer en quoi que ce fût l'épaisseur moyenne des maçonneries; que si les dimensions en excès de la cuvette et de la banquette étaient jugées superflues, on pouvait, en conservant toujours la même épaisseur aux maçonneries, supprimer les retraites, ce qui aurait diminué la largeur de la tranchée. Il ne faut jamais perdre de vue, en effet, qu'une retraite extérieure, qui a souvent peu de hauteur, oblige d'élargir la tranchée dans toute la hauteur, ce qui occasionne une très-grande dépense. Nous croyons donc qu'on peut poser en principe que toute galerie en tranchée ne doit pas avoir de retraite extérieure.

Si maintenant on examine la forme de la cuvette, on reconnaît que la largeur et la profondeur ne sont pas dans le rapport qu'exigerait le maximum de la vitesse de l'eau; ce serait là un faible inconvénient si la section adoptée était dans les conditions du minimum de dépense. Or, on reconnaît bien vite qu'à cause de l'énorme épaisseur des pieds-droits, surtout du côté de la banquette, il y a grand avantage à élargir la cuvette et à diminuer sa hauteur. En effet, les deux pieds-droits ont ensemble une épaisseur de $2^m,60$, tandis que celle de la voûte et du radier n'est que de 1^m; par conséquent, en augmentant la largeur de la cuvette de $0^m,10$ et diminuant sa hauteur de la même quantité, on gagne $0^{m.c.},16$ de maçonnerie sans diminuer la section; la proportion est donc mauvaise sous tous les rapports. Portons la largeur de la cuvette à $2^m,40$, réduisons sa hauteur moyenne à $0^m,90$, élevons ensuite au-dessus de la banquette un profil plus rationnel que ne l'est celui qui est exécuté, et nous obtiendrons une économie de $4^{m.c.}$ de maçonnerie, de $2^{m.c.},50$ de déblai, représentant une dépense de plus de 100 fr. par mètre courant, ou de 400,000 fr. pour l'aqueduc, tout en laissant à la galerie sa banquette, et sa retraite intérieure destinée à supporter un plancher en cas de réparations. Le profil modifié, indiqué dans la fig. 47 par une ligne ponctuée, donne en même temps beaucoup plus d'air et d'espace dans la partie au-dessus de l'eau, avec une largeur qui permet le parcours d'un assez fort batelet, avec une diminution de poids sur chaque mètre de fonda-

Digitized by Google

tion et de hauteur d'eau sur le radier, c'est-à-dire avec moins de chances de filtrations. Maintenant si, entrant plus avant dans l'examen du service de l'aqueduc, nous discutions l'utilité de la retraite intérieure, et celle de la banquette, qui pourrait être supprimée ou remplacée par une planche portée sur des corbeaux de fonte, nous arriverions à des formes encore plus économiques. Disons cependant que l'aqueduc de ceinture étant à la fois un réservoir et un aqueduc, c'est-à-dire que l'eau y étant alternativement en mouvement et tranquille, la section que nous proposons pour la cuvette eût dû être approfondie vers l'extrémité pour contrebalancer l'effet de la pente. Mais nous ne le considérons ici que comme type d'aqueduc destiné à conduire une grande masse d'eau, nous réservant d'examiner plus tard son rôle dans la distribution de Paris.

La section de l'aqueduc Saint-Laurent (fig. 48) nous paraît au moins aussi défectueuse que celle de l'aqueduc de ceinture; les mêmes corrections sont à faire. En retranchant de la cuvette $0^m,70$ de hauteur, en donnant une courbure aux pieds-droits, en supprimant la retraite extérieure, on arriverait à une forme aussi solide, plus économique (un tiers de moins de maçonnerie), et qui permettrait de parcourir cet aqueduc en bateau, ou avec des bottes d'égouttier, si l'on ne jugeait pas à propos d'établir des planches sur des corbeaux. Ces sections ne sont donc pas, suivant nous, des exemples à suivre.

Nous ne continuerons pas plus loin cet examen critique, qui n'a d'autre but que de faire sentir combien l'étude de la section à donner à un aqueduc est importante. On ne peut, comme pour les tuyaux, présenter des formes types qui soient toujours à imiter; ce sont les circonstances locales, les matériaux dont dispose l'ingénieur, et une étude approfondie qui doivent le déterminer dans tous les cas. Les considérations dans lesquelles nous venons d'entrer n'ont pas pour but d'y suppléer, mais d'en faire sentir la nécessité.

106. La plupart des réflexions précédentes s'appliquent aux galeries destinées à recevoir des tuyaux de conduites. Nous parlerons plus loin de la question de savoir si les tuyaux doivent être placés en galeries; et, quoiqu'à notre avis on ne doive pas en général, surtout pour les petites distributions, faire de galeries spéciales pour les conduites, il n'en est pas moins vrai que lorsque ces galeries peuvent en même temps servir à d'autres usages, il devient avantageux d'y placer les tuyaux de conduites.

Digitized by Google

En effet, il suffit d'un léger élargissement de l'égout pour le rendre propre à cet usage, et cet élargissement est toujours très-peu dispendieux, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut.

Les galeries peuvent contenir une ou plusieurs conduites : à notre avis elles ne devraient jamais en contenir plus de deux, à moins que les eaux à conduire ne soient de nature et de charge différentes. Nous avons fait voir précédemment (n° 154) l'énorme excédant de dépense qui résulte de la multiplicité des conduites dans la même direction. La galerie Saint-Laurent (fig. 49), dans la distribution de Paris, en fournit un exemple. Elle contient :

Une conduite de $0^m,60$, pour laquelle $\sqrt{D^5}$ est.	0,279
Deux conduites de $0^m,50$, pour lesquelles $\sqrt{D^5}$ est.	0,353
Deux conduites de $0^m,40$, pour lesquelles $\sqrt{D^5}$ est.	0,202
Le diamètre moyen est $0^m,93$, pour lequel $\sqrt{D^5}$ est..	0,834

Ainsi, on a dépensé $(60 + 2 \times 50 + 2 \times 40) = 240$ fr., au lieu de 83 fr. qu'aurait coûté un seul tuyau, sans compter l'augmentation de hauteur et de largeur qu'on a été obligé de donner à la galerie. Admettons que, pour assurer le service, on ait jugé nécessaire de partager l'eau en deux conduites, leur diamètre commun eût dû être de $0^m,71$ (voir à la Table des diamètres le chiffre correspondant à 0,417), et la dépense eût été de 142 fr. environ. Un aussi grand nombre de conduites dans une galerie ne saurait donc se justifier à aucun point de vue.

Quand les galeries à conduites servent en même temps d'égouts, on élève ces dernières sur des banquettes pour qu'elles ne soient pas immergées dans l'eau à laquelle l'égout donne écoulement, ce qui dissimulerait les fuites et rendrait les réparations plus difficiles. Pour rendre l'opération du matage des joints plus facile, on élève encore la conduite au-dessus de la banquette par de petits tasseaux de brique placés de distance en distance. Au lieu de banquettes, qui viennent prendre une partie de la section des égouts, on emploie souvent des consoles en fonte qui ont, en outre, l'avantage de faciliter beaucoup la pose et les réparations. A égalité de prix, ce système est bien préférable ; il appartient à l'ingénieur de comparer les dépenses, suivant le diamètre des conduites et les circonstances locales. Nous fournissons plus loin tous les éléments nécessaires pour cette comparaison.

107. Il nous reste maintenant à traiter la question de savoir dans quel

Digitized by Google

cas il faut avoir recours aux conduites forcées et aux conduites libres ou aqueducs.

Si l'on considère le problème de la conduite des eaux d'une manière abstraite, les deux systèmes peuvent être appliqués partout. En effet, une ligne d'eau AB étant donnée (fig. 50), on peut adopter une section d'aqueduc de forme quelconque et de surface suffisante pour porter la quantité d'eau déterminée; on creusera la galerie en tranchée ou en souterrain quand la ligne d'eau sera en déblai, et on élèvera un mur ou des arcades quand elle sera en remblai. Quant au tuyau, nous avons fait voir plus haut qu'il peut en toute circonstance être substitué à l'aqueduc, en le plaçant au-dessous de la ligne de charge et en lui donnant une section de 1/10 environ plus grande que celle de l'aqueduc. Ainsi, *mathématiquement*, les deux systèmes peuvent toujours être substitués l'un à l'autre; mais, *économiquement*, la question change de face, et chacun des systèmes trouve sa place, suivant les circonstances locales.

Quoique les anciens connussent les tuyaux de plomb et de poterie, ils se servaient presque exclusivement d'aqueducs pour conduire les eaux, surtout en grande masse. Les tuyaux de poterie ne pouvant supporter que de faibles pressions et les tuyaux de plomb étant excessivement chers, surtout pour de gros diamètres, le choix presque exclusif qu'ils faisaient des aqueducs était parfaitement rationnel. Disons de plus que, sauf en ce qui concerne les conditions scientifiques du tracé des aqueducs, la construction de ces ouvrages a si peu fait de progrès depuis l'antiquité, qu'il serait fort difficile de distinguer un aqueduc moderne d'un aqueduc romain. Il n'en est pas de même de l'art de construire les conduites forcées; l'application de la fonte à cet usage constitue un progrès énorme dans l'art de conduire les eaux. Le prix de ce métal diminue sans cesse; on a perfectionné les procédés de moulage, d'assemblage, de sorte que les conduites de même diamètre coûtent aujourd'hui moitié moins cher que ce qu'elles coûtaient il y a trente ans. Quant à la comparaison du prix de ces conduites de fonte avec les conduites de plomb anciennement employées, nous ne saurions la faire exactement : nous avons dit plus haut (n° 90) que, pour trouver la même résistance dans une barre de plomb que dans une barre de fonte, il faut dépenser trente fois plus, mais que ce rapport est peut-être exagéré en ce qui concerne les tuyaux; cependant, comme, chez les anciens, la valeur du plomb par rapport à la

Digitized by Google

maçonnerie était certainement beaucoup plus considérable qu'elle ne l'est aujourd'hui, on ne se tromperait pas beaucoup en se servant de cette base; c'est-à-dire qu'une conduite libre coûte aujourd'hui ce qu'elle coûtait autrefois, et une conduite forcée, trente fois moins. On doit comprendre par là que le problème de la conduite des eaux se présente aujourd'hui dans des conditions toutes différentes de ce qu'elles étaient dans l'antiquité. Lorsque les anciens avaient besoin de conduire de l'eau, ils ne pouvaient avoir recours qu'à un acqueduc de maçonnerie d'une construction en général facile, ou à de très-lourds, très-dispendieux et très-mauvais tuyaux de plomb; figure 53. Il n'est donc pas étonnant qu'ils aient presque toujours construit des aqueducs qui, de plus, dans le passage des vallées, ont, pour les architectes, l'avantage de nécessiter des travaux gigantesques qui frappent les esprits et font admirer les constructeurs. Mais aujourd'hui l'alternative n'étant plus la même, l'imitation des anciens, sous ce rapport, serait une faute économique; il faut donner aux conduites forcées le terrain qu'elles ont conquis sur les conduites libres; il y a place encore pour tous les systèmes, nous allons chercher à déterminer les circonstances où chacun d'eux doit être appliqué.

Lorsque la ligne d'eau ou ligne de charge se trouve en déblai, l'aqueduc présente, sur la conduite forcée, des avantages qui varient avec le système d'aqueduc, et avec la quantité d'eau débitée. Supposons un petit aqueduc, ayant, par exemple, $0^{m},30$ sur $0^{m},15$ de section mouillée, soit $0^{m.c.},045$; si nous voulons le remplacer par une conduite, elle devra avoir $0^{m.c.},045 \left(\frac{11}{10}\right) = 0^{m.c.},049$ de section, soit $0^{m},25$ de diamètre. Cette conduite coûtera 25 fr. par mètre courant, tandis que le petit aqueduc coûtera à peine 10 fr. Si l'aqueduc est un peu plus grand et qu'on en double la section utile, en donnant $0^{m},15$ de plus aux pied-droits, ce sera à peine une augmentation de 2 à 3 fr. par mètre pour l'aqueduc, tandis qu'il faudra porter le diamètre de la conduite à $0^{m},35$, et la dépense à 34 fr. On aura donc 22 fr. d'économie par mètre. Mais cette économie disparaîtrait et il y aurait excès de dépense, si l'on adoptait pour une aussi faible quantité d'eau un aqueduc où un homme pût pénétrer; car il serait difficile d'exécuter un aqueduc semblable à moins de 35 fr. En entrant dans ce système, l'économie relative s'amoindrit, parce que la section mouillée n'est plus qu'une petite fraction de la section totale. Supposons que dans un aqueduc de ce genre, ayant $0^{m},60$ de lar-

Digitized by Google

geur, la hauteur d'eau soit de $0^m,40$, la section mouillée sera de $0^m,24$, et l'on pourra substituer à l'aqueduc une conduite $0^m,60$; on voit donc que si celui-ci doit coûter 40 fr., l'économie n'est plus que du tiers de la dépense totale. Elle sera plus considérable, si l'on suppose une plus grande hauteur d'eau dans l'aqueduc; mais alors on ne pourra plus que difficilement visiter cet ouvrage lorsqu'il sera en service : ce sera un aqueduc du premier genre.

Quant aux aqueducs qui, comme celui d'Arcueil (fig. 51), conduisent peu d'eau et peuvent être parcourus à pied sec par des hommes debout, ils sont beaucoup plus dispendieux que les conduites. La différence s'amoindrit, il est vrai, avec la quantité d'eau; mais nous doutons qu'elle puisse jamais devenir nulle. Ainsi, l'aqueduc de ceinture de Paris a coûté 800 fr. environ par mètre courant, et il ne fait guère l'effet que de trois tuyaux de 1^m de diamètre qui ne coûteraient pas la moitié de cette somme. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce sujet.

La comparaison que nous venons de faire est incomplète sous bien des rapports, car elle ne tient pas compte de beaucoup d'éléments qui peuvent emprunter une grande importance des conditions où l'on se trouve placé.

Disons d'abord, en faveur de l'aqueduc, surtout de celui qui peut être visité, qu'il présente beaucoup plus de sécurité pour la distribution; peut-être, pour en obtenir une équivalente avec des tuyaux, faudrait-il les doubler, ce qui, comme nous l'avons vu, augmente beaucoup les dépenses, dans le rapport de 1 à 1.56. Que si les eaux, comme celles d'Arcueil, forment des dépôts calcaires ou autres, le nettoiement est beaucoup plus facile et beaucoup moins dispendieux. Mais c'est là un avantage dont il ne faut guère tenir compte, car des eaux chargées d'une telle quantité de carbonate de chaux ne devraient pas être mises en distribution. On ne s'en servait autrefois qu'à cause de l'ignorance où l'on était des moyens d'élever l'eau, ce qui obligeait à avoir recours presque exclusivement à des sources plus élevées que les points que l'on voulait alimenter, et rendait peu difficile sur le choix des eaux.

Les considérations à faire valoir en faveur des tuyaux sont d'un autre ordre. Nous les avons supposés placés dans le tracé même de l'aqueduc; or, c'est là une supposition trop défavorable, attendu que la conduite forcée n'est nullement astreinte à suivre les développements de la ligne de charge sur le terrain. Pour conduire les eaux d'Usez à Nîmes, les Romains ont été obligés de faire un aqueduc de 50 kil. de développement, quoique ces deux villes ne soient qu'à 20 kil. l'une de l'autre. Nous voyons qu'une

Digitized by Google

conduite forcée n'aurait eu que la moitié de cette longueur ; de là deux économies : celle de la longueur, et celle du diamètre, résultant de l'augmentation de la pente par mètre. Le diamètre, en effet, aurait pu être réduit dans le rapport de 1 à 0,87. Enfin, par cela même que le tracé de l'aqueduc est assujetti à suivre la ligne de charge et toutes les sinuosités du terrain, il est souvent obligé de traverser des terrains précieux dont il faut indemniser les propriétaires, tandis que la conduite forcée, qui n'est soumise à d'autre condition qu'à se trouver au-dessous de la ligne de charge, peut être placée dans les rues, dans les chemins, dans les propriétés publiques où son passage sera gratuit. Cette liberté dans le tracé permet en même temps de desservir en route quelques intérêts, et d'ajouter à l'utilité de la distribution.

Le tracé d'un aqueduc est soumis à des conditions plus rigoureuses que celui des routes et des chemins de fer, puisqu'il n'admet que des pentes presque insensibles, et jamais de contre-pentes ; il prendrait donc un développement excessif, si l'on s'astreignait à suivre la ligne du sol. Pour abréger sa longueur, on se décide souvent à couper les contre-forts par de grandes tranchées, et les vallées affluentes par des ponts-aqueducs, c'est-à-dire à placer la ligne de charge en déblai ou en remblai. Quand la ligne de charge est en grand déblai, c'est une circonstance qui doit en général déterminer à choisir l'aqueduc de préférence au tuyau ; un tuyau nécessiterait en effet la même tranchée et probablement la même dépense qu'un aqueduc ; de plus, situé à une aussi grande profondeur, il pourrait se rompre sans qu'on s'en aperçût à la surface du sol, car l'eau ne pouvant remonter jusque-là ne pourrait trouver d'issue que latéralement ; les recherches seraient tellement difficiles et dispendieuses, qu'on serait probablement obligé de placer le tuyau dans une galerie qui en permît la visite en tout temps. Il est donc beaucoup plus simple de mettre l'eau elle-même dans la galerie, on économise ainsi le prix du tuyau.

108. Lorsque la ligne de charge est en remblai, la construction d'un aqueduc entraîne celle d'un mur pour le supporter. L'économie, l'élégance et quelquefois la nécessité de laisser passer un cours d'eau ou des voies de communication transversales, exigent que ce mur soit percé d'arcades. Un remblai ne pourrait guère convenir à cet usage, à cause des tassements auxquels il donnerait lieu, et de l'énorme empatement des talus. De là ces magnifiques ponts-aqueducs que les Romains ont laissés dans

Digitized by Google

tous les pays qu'ils ont occupés, que nous devons admirer et ne pas imiter. En effet, rien n'est si cher que ces sortes d'ouvrages, où tout est angle et parement, et par conséquent maçonnerie de choix. Tous les ingénieurs qui ont construit des ponts ou des viaducs savent, en effet, que les têtes constituent la plus grande partie de la dépense; or, dans les ponts-aqueducs, à cause de leur peu de largeur, il n'y a, pour ainsi dire, que des têtes. Si maintenant on compare la dépense d'un tuyau ou même d'un système de tuyaux à celle d'un pont-aqueduc, on arrive presque toujours à conclure en faveur du premier système.

Qu'on nous permette de le démontrer par quelques exemples. Dans un intéressant Mémoire sur la rigole d'Yonne, destinée à alimenter le canal du Nivernais, M. l'ingénieur en chef Charrié fournit les données nécessaires pour faire cette comparaison sur les deux ponts-aqueducs qui ont été construits pour le passage de cette rigole sur les vallons de Montreuillon et de l'Yonne.

Le débit de cette rigole doit être de $1^{m.c.},20$, débit qui serait très-considérable pour une distribution de ville. On a donné à cette rigole de 28 kilom. une pente de $0^{m},30$ par kilom. dans la première partie, de $0^{m},40$ dans la seconde, de 1^{m} par kilom. sur les ponts-aqueducs, et de $0^{m},80$ dans les tranchées. La hauteur d'eau est partout de $0^{m},80$. Le profil de la rigole est un trapèze avec talus ayant $1^{m},50$ ou 1^{m} de base pour 1^{m} de hauteur, suivant la nature du terrain, et présentant des sections de $1^{m},60$ à $1^{m},80$, c'est-à-dire que la vitesse y est d'environ $0^{m},70$ par seconde.

Disons de suite que le mètre courant de cette rigole, qui présente beaucoup d'ouvrages d'art dans son parcours, n'a coûté que 48 fr., beaucoup moins qu'elle n'avait été estimée, deux circonstances qui font beaucoup d'honneur à l'ingénieur qui en a dirigé les travaux. Ce chiffre de dépense suffit pour démontrer tout l'avantage de ce système sur tout autre, dans les circonstances où il a été employé. Il est évident que ni aqueduc ni tuyau ne pourraient entrer en comparaison sous le rapport de l'économie; 50 fr., c'est le prix d'un tuyau de $0^{m},50$, et on va voir qu'il en faut un de $1^{m},30$ dans les pentes les plus fortes. Mais on aurait tort de conclure de là que le système de tuyaux n'aurait dû être employé nulle part, car si 48 fr. est le prix moyen, le prix du mètre courant s'élève sur certains points jusqu'à 1,700 fr.

Voyons d'abord ce que coûterait un tuyau dans les conditions de pente où sont les ponts-aqueducs. Le diamètre du tuyau équivalent nous sera donné par l'équation ;

Digitized by Google

$$D^5 = \frac{\left(\frac{1,20}{20}\right)^2}{0,001} = 3,60;$$

d'où $D = 1^m,292$, soit $1^m,30$.

Un tuyau de 1^m30 serait sans contredit le parti le plus économique et peut-être le meilleur; mais pour nous mettre à l'abri de toute objection sur les interruptions de service, nous supposerons qu'on emploie le système de deux tuyaux indépendants. L'équation précédente nous donne :

$$\sqrt{D^5} = 1,90.$$

Nous pouvons donc prendre le système de deux tuyaux de 1^m, dont la dépense ne dépasserait certainement pas 300 fr. le mètre courant [1]. Le développement du profil traversé par l'aqueduc de Marigny étant de 100^m, la dépense en tuyaux posés n'eût été que de 30,000 fr.; ajoutons 10,000 fr. pour robinets de décharge et travaux divers, et nous arrivons à un chiffre de 40,000 fr. L'aqueduc en maçonnerie en a coûté 70,000.—C'est une économie de 43 pour 100. Mais le pont-aqueduc de Marigny est petit, sa plus grande hauteur au-dessus du fond de la vallée est de $14^m,30$. Faisons le même calcul pour celui de Montreuillon, dont la plus grande hauteur est de $33^m,67$, et nous trouverons un résultat beaucoup plus avantageux. Le développement de la conduite eût été de 170^m, ce qui eût donné une dépense de 51,000 fr. pour tuyaux, à laquelle ajoutant 29,000 fr. pour robinets, petit pont sur le fond de la vallée et travaux accessoires, on serait arrivé pour la dépense totale à 80,000 fr., tandis que le pont-aqueduc en a coûté 270,000. Le bénéfice est donc de 190,000, soit de 78 pour 100.

Ces deux exemples sont pris dans les circonstances les moins favorables au système de tuyaux; la quantité d'eau conduite est considérable, les vallées peu profondes. Si nous faisions des calculs analogues pour les ponts-aqueducs destinés à conduire des eaux en petite quantité et traversant des vallées profondes, nous arriverions à des résultats beaucoup plus économiques. Car la dépense des tuyaux décroît rapidement avec la quantité d'eau à conduire, et est à peu près constante, quelle que soit la profondeur

[1] L'usine de Fourchambault fournit en ce moment pour l'aqueduc de Madrid des tuyaux de $0^m,92$ de diamètre, pesant 460^k par mètre courant; leur épaisseur est de $0^m,02$; il y aura quatre tuyaux de front dans toutes les vallées; la profondeur maximum de ces vallées est de 50^m, la plus longue a 600^m. — M. Chameroy a soumissionné pour la ville de Paris des tuyaux en tôle et bitume de 1^m de diamètre à 110 fr., fourniture et pose.

Digitized by Google

de la vallée à traverser, tandis que la dépense d'un pont-aqueduc croît rapidement avec cette profondeur et très-peu avec la quantité d'eau à conduire. Ainsi l'aqueduc d'Arcueil, qui n'amène à Paris que la 50e partie de l'eau conduite par la rigole d'Yonne, quoique tout aussi large que ceux que nous venons de considérer, pourrait être remplacé par des conduites d'un très-petit diamètre; nous en dirons autant de presque tous les anciens ponts-aqueducs romains. Ajoutons que la comparaison que nous venons de faire est loin de représenter l'économie réelle que peut donner la substitution des tuyaux aux ponts-aqueducs. Nous avons supposé que cette substitution se faisait dans l'emplacement même de ces ouvrages et dans les mêmes conditions de pente. Or, ce n'est pas ainsi que les choses se passeraient si, dans la conception du projet, le système des tuyaux avait été adopté : en effet, pour le pont-aqueduc, l'ingénieur est obligé, dans un but d'économie, de chercher, quelquefois assez loin de la direction générale, un point où la vallée soit dans les meilleures conditions pour l'établissement de cet ouvrage; de là souvent allongement du tracé et profil plus dispendieux aux abords; tandis que les tuyaux, soumis à des conditions moins rigoureuses, permettraient un tracé beaucoup plus économique. Enfin, il arrive presque toujours que l'ingénieur est maître de forcer la pente dans certains points du tracé, sauf à la diminuer dans le reste. On vient d'en voir un exemple dans la rigole d'Yonne; mais si, *à priori*, on avait pris le parti d'admettre des conduites forcées partout où elles auraient présenté de l'avantage, une autre répartition aurait pu être adoptée pour diminuer leur diamètre. En doublant la pente, le diamètre des tuyaux diminue dans le rapport de 1 à 0,87; en la triplant, de 1 à 0,80, etc., etc. Or, ces augmentations de pente sont très-faciles lorsqu'il s'agit de petites étendues. Sur le pont-aqueduc de Marigny, la pente absolue est à peine de $0^m,10$, elle est de $0^m,20$ sur celui de Montreuillon; une augmentation notable de ces pentes n'amènerait donc qu'une diminution insignifiante de celle du reste de la rigole. Enfin, l'économie qu'offre le système des tuyaux pour franchir les vallées peut amener une modification complète du tracé, comme nous l'avons déjà fait remarquer au sujet de l'aqueduc de Nîmes. En effet, pour éviter la construction d'un pont-aqueduc dispendieux, on se décide souvent à remonter le ravin qu'on doit traverser, au moyen d'un développement qui double ou triple la longueur de la rigole, on la place sur un versant moins convenable, etc., etc.; de sorte que pour calculer exactement l'écono-

Digitized by Google

mie qui résulterait de l'introduction de portions de tuyaux dans le tracé d'une rigole, il faudrait refaire le projet complet dans les deux hypothèses.

109. L'avantage des tuyaux siphons sur les ponts-aqueducs est tellement considérable, qu'à une époque où l'art de confectionner les tuyaux était encore dans l'enfance, les architectes romains n'ont pas hésité à les employer dans certaines circonstances. Nous trouvons à la suite du commentaire de Frontin, traduit par Rondelet, une notice intéressante sur l'aqueduc du mont Pila, destiné à conduire à Lyon les eaux de diverses sources. Cet ouvrage nous paraît un des plus curieux que nous ait laissés l'antiquité, en ce qu'il fait assez bien connaître où en était, à cette époque, l'art de conduire les eaux. A part cet intérêt historique, il offre un exemple des ponts-aqueducs siphons, qu'on a quelquefois employés depuis, et dont nous devons nécessairement parler pour compléter cette étude. Voici ce que dit Rondelet :

« Le vallon qui est entre Soucieux et Chaponost a 200 pieds environ de « profondeur. Cinq ponts l'un sur l'autre auraient été à peine suffisamment « élevés pour porter l'aqueduc d'un coteau à l'autre, et le dernier de ces « ponts aurait eu environ 400 toises de longueur.

« Le vallon entre Chaponost et Sainte-Foy, d'environ 300 pieds de pro- « fondeur, et dans lequel passe la rivière d'Izeron, avait exigé huit rangs « d'arcades les uns sur les autres, tous très-longs.

« Le troisième vallon, entre la colline du petit Sainte-Foy et celle de « Fourvières, avait exigé trois rangs d'arcades.

« Toutes ces constructions auraient exigé des travaux prodigieux et une « dépense énorme, capables d'arrêter l'exécution du projet; mais l'intelli- « gence des architectes qui en furent chargés leur fit imaginer de substituer « à ces constructions des tuyaux en plomb, d'un travail et d'une dépense « bien moins considérables.

« Ainsi, pour le passage du vallon du Garon, l'aqueduc, parvenu sur la « hauteur de la colline, répandait ses eaux dans un réservoir ou cuvette, « placé sur une tour carrée (fig. 52). . . . . .

« Le mur de ce réservoir, du côté du vallon, était percé, à 9 pouces au- « dessus du fond, de neuf ouvertures ovales, de 12 pouces de hauteur sur « 10 de largeur, à 7 pouces d'intervalle les unes des autres. C'est par ces « ouvertures que l'eau sortait du réservoir de chasse par autant de tuyaux « de plomb qui descendaient dans le vallon, couchés d'abord sur un des « arcs rampants, et ensuite sur un massif de maçonnerie, dont la pente

Digitized by Google

« était réglée jusqu'aux arcades, sur lesquelles ils traversaient le fond du « vallon. De là, ces tuyaux remontaient le côté opposé, également cou- « chés sur un autre massif de maçonnerie, terminé par les arcs rampants « qui lui donnaient l'entrée dans un autre réservoir, qui est de niveau avec « l'aqueduc de Chaponost. . . . . .

« Le pont à siphon, sur lequel les tuyaux traversaient le vallon, est « construit et disposé dans les mêmes proportions que les ponts-aqueducs; « ses piles ayant 9 pieds de face, l'ouverture des baies 18, et la hauteur de « l'arcade 36. . . . . .

« Selon M. Delorme, les neuf siphons, qui sortaient du réservoir par « autant d'orifices, avaient chacun 8 pouces de diamètre intérieur, et « s'évasaient dans ces ouvertures sur 11 pouces de haut, pour faciliter l'en- « trée de l'eau. Ces tuyaux, d'environ 1 pouce d'épaisseur, descendaient « jusqu'à moitié de la pente, où ils se divisaient en deux branches, qui « passaient sur le pont, et remontaient le côté opposé du vallon jusqu'à « 70 pieds, où les deux branches se réunissaient comme de l'autre côté « en un tuyau de 8 pouces, qui allait jusqu'au réservoir. . . . . .

« Quant à moi, je pense que les neuf tuyaux partant du réservoir de « chasse et allant au réservoir de fuite, étaient les mêmes dans toute leur « étendue, et qu'ils passaient sur les arcades. . . . . »

Il est assez extraordinaire, en effet, que le pont à siphon s'élargisse dans le passage le plus profond de la vallée; le motif de cet élargissement paraît assez difficile à deviner. Quoi qu'il en soit, on doit reconnaître, dans l'ensemble des dispositions de cette partie de l'aqueduc du mont Pila, une certaine intelligence économique d'autant plus remarquable, qu'elle n'est pas ordinaire dans les travaux des Romains. Par ce système, la hauteur du pont-aqueduc est réduite de 200 pieds à 36. Mais pourquoi, puisqu'on était dans cette voie, n'avoir pas été jusqu'au bout et supprimé complétement le pont à siphon, qui ne peut se justifier que par l'existence d'un cours d'eau? S'il s'agissait d'une construction moderne, nous n'hésiterions pas à demander compte du nombre considérable de tuyaux; mais si l'on examine la forme des tuyaux romains (fig. 53), leur mode de suture et d'assemblage, on concevra jusqu'à un certain point la timidité de l'architecte romain à l'égard des tuyaux d'un grand diamètre. Cela est si vrai, que dans le même aqueduc, pour une vallée plus profonde, les tuyaux étaient plus nombreux et d'un plus petit diamètre. Ainsi, non-seulement les anciens,

Digitized by Google

pour conduire de l'eau forcée, avaient, par rapport à nous, le désavantage du métal, mais ils ne savaient pas même manier le seul qui fût à leur disposition, comme on le fait aujourd'hui. Cependant, comme on vient de le voir, les architectes plus hardis et plus intelligents avaient déjà recours au siphon, et ceux qui faisaient encore des ponts-aqueducs consultaient plus l'intérêt de leur renommée que celui du trésor public.

On trouvera, dans les planches de Genieys, le dessin du pont à siphon de Gênes. Nous ne pourrions que répéter, pour cet ouvrage, ce que nous venons de dire pour le précédent. Pourquoi élever sur une construction, toujours dispendieuse, un tuyau qu'on peut placer immédiatement sur le sol, ou mieux encore, sous le sol? car on doit remarquer que les conduites d'eau sont dans des conditions d'autant meilleures, qu'elles sont plus à l'abri des variations de température. Peut-être a-t-on été effrayé de la pression que les tuyaux avaient à subir si on les faisait descendre jusqu'au fond des vallées, des accidents qui pourraient résulter d'une rupture. Ce sont là des craintes chimériques, et de nombreux exemples pourraient démontrer que les tuyaux et leurs joints résistent parfaitement à des pressions constantes de 100 à 150^{m} (distribution de Versailles); c'est une affaire de quelques millimètres de plus ou de moins dans leur épaisseur. Le pont à siphon se trouve d'ailleurs parfaitement motivé, toutes les fois qu'un cours d'eau traverse la vallée; mais il ne faut le faire en longueur et en hauteur que des dimensions exigées par le volume du cours d'eau ou par les besoins de la navigation, et, en largeur, par la dimension de la galerie qui contient la conduite. Qu'on nous permette, à l'appui des considérations précédentes, de mettre sous les yeux des lecteurs le profil en long de la conduite forcée qui amène les eaux à Avallon (fig. 54). Il s'agissait d'amener 14 litres par seconde dans cette ville, éloignée de 5000^{m} des sources qui devaient les fournir; M. l'ingénieur en chef Belgrand a très-heureusement résolu ce problème au moyen,

1° D'une conduite libre de 3630^{m} de longueur en béton de ciment de Vassy, qui a coûté		33,224^{f}
Soit par mètre courant, pour maçonnerie	6^{f},98	
— pour déblais	1,77	
— pour frais de regards (21 à 70,83) (fig. 56)	0,40	
Total par mètre courant	9^{f},15	
A reporter		33,224^{f}

Digitized by Google

Report.	332,24f
2° D'une conduite forcée de 1270m de longueur, 0m,162 de diamètre, compris robinets d'arrêts, etc. (à 28f,03 le mètre).	35,601
3° Pont-aqueduc-siphon de 30m d'ouverture	9,190
4° Réservoir.	11,463
5° Dépense en régie et frais de surveillance.	8,122
Total de la dépense.	97,600f

Qu'on imagine maintenant, au lieu de la conduite forcée, un pont-aqueduc de 70m de hauteur maximum, et on reconnaîtra que la dépense du passage de la vallée eût été deux ou trois fois décuplée.

110. Concluons donc que le problème économique de la conduite des eaux est éminemment complexe; que l'ingénieur doit tour à tour appeler à son aide, suivant les circonstances locales, les divers systèmes usités; que chacun d'eux a sa place rationnelle, qui ne peut être déterminée par des règles précises; que cependant la réflexion conduit à en connaître les caractères généraux, qui peuvent être résumés ainsi :

La rigole en terre convient aux grandes quantités d'eau, et quand la ligne de charge ou surface de l'eau se trouve à fleur du sol.

L'aqueduc convient aux quantités moyennes, et quand la ligne d'eau se trouve en déblai.

Les tuyaux conviennent aux petites quantités d'eau, et quand la ligne de charge se trouve en remblai.

Le pont-aqueduc n'est admissible que pour de grandes quantités d'eau, et quand la ligne d'eau ou de charge n'est pas fortement en remblai.

On ne doit construire de pont-siphon que pour traverser des cours d'eau.

Il n'y a qu'une étude complète et détaillée de chaque projet qui puisse déterminer d'une manière définitive le choix des systèmes à employer, qui peut varier selon les ressources dont on dispose.

111. Il nous reste à considérer une espèce particulière d'aqueduc destiné à recueillir et à conduire les eaux du sous-sol dans les réservoirs d'une distribution, aqueduc qu'on appelle ordinairement pierrée, parce qu'il ne se compose souvent que de quelques pierres placées les unes au-dessus des autres, sans mortier (fig. 57).

Des eaux qui tombent sur la terre, une partie coule rapidement à la surface, se jette dans les ruisseaux, les rivières, les fleuves, et se rend à la mer; mais une autre partie pénètre dans l'intérieur des terres et forme des étangs, des cours d'eau souterrains dont le mouvement est beaucoup plus

Digitized by Google

lent que celui des cours d'eau situés à la surface du sol, parce qu'ils ont à vaincre le frottement engendré par le développement sinueux des interstices au travers desquels ils s'écoulent. Ces nappes souterraines ont une pente de superficie lorsque leur surface est libre, c'est-à-dire que le terrain supérieur est perméable, ou une ligne de charge lorsque, comprises entre deux terrains imperméables, la surface supérieure est pressée; elles peuvent déboucher soit à l'air libre et donner lieu à des fontaines ordinaires, comme celles qu'on rencontre sur le flanc d'un grand nombre de coteaux, soit dans des cours d'eau naturels. Ce sont elles qui alimentent les sources et les puits si nombreux dans tous les pays; on peut en tirer parti pour les distributions d'eau, toutes les fois que leur niveau dépasse sensiblement celui du terrain qu'on veut alimenter; des eaux souterraines dans un endroit peuvent devenir jaillissantes dans un autre, par des moyens artificiels que nous allons décrire.

Imaginons que, depuis le réservoir inférieur qu'on veut alimenter jusqu'au terrain supérieur qui contient des nappes souterraines abondantes, on ait ouvert un aqueduc, de pente et de section suffisantes pour conduire le volume d'eau qu'on espère recueillir. Cet aqueduc devra être parfaitement étanche dans toute la partie qui traversera des couches perméables, mais non aquifères, c'est-à-dire construit de manière que les eaux ne puissent en sortir; il pourra d'ailleurs être libre ou forcé, suivant les circonstances; il suffira qu'il devienne libre au point où son radier atteint la couche argileuse qui retient la nappe souterraine. Supposons maintenant cet aqueduc prolongé souterrainement, suivant une légère pente, ayant la couche argileuse pour radier, une voûte et des pieds-droits construits avec des pierres sèches, et voyons ce qui va se passer. Coupons la pierrée par un plan parallèle à la vitesse de l'eau dans la couche aquifère. Soient MN la surface du terrain, AB celle de la couche aquifère avant l'établissement de la pierrée, GH celle du fond imperméable. Si la pierrée était peu perméable, c'est-à-dire percée çà et là de trous insuffisants pour débiter toute l'eau qui suit la direction AB, une partie seulement tomberait dans la pierrée et y prendrait une hauteur $a'p$ en raison de son volume, de la pente et de la largeur de la pierrée; la surface de l'eau, dans la couche aquifère, s'infléchirait suivant la ligne A'C'B', et pourrait pénétrer dans la pierrée par les deux pieds-droits. Si l'on augmente les pores de la pierrée, toute l'eau de la couche aquifère pourra y entrer, et elle prendra

Digitized by Google

dans le sol perméable et dans l'aqueduc la surface A*ba*C″B″. La paroi d'amont du pied-droit recevra de l'eau; la paroi d'aval en perdra, mais fort peu, parce que l'eau, retenue par les pores du terrain perméable, sera sensiblement à la même hauteur des deux côtés de cette paroi. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, ce que nous avons dit plus haut, que la vitesse de l'eau dans la couche souterraine est toujours très-faible, une fraction de millimètre par seconde. C'est par ce motif qu'elle occupe une hauteur AG dans le terrain perméable, tandis qu'elle n'occupera qu'une hauteur *ap* dans la pierrée, où elle coule librement avec une vitesse de 30 ou 40 centimètres par seconde. Il y a même telle position de pierrée où l'eau pourrait entrer des deux côtés, si par exemple elle se trouvait dans un pli de la couche de glaise. L'intérêt qu'on peut avoir à rendre le pied-droit d'aval imperméable n'est donc pas toujours aussi grand qu'on pourrait l'imaginer. Ce n'est que lorsqu'on peut parfaitement se rendre compte de la direction du courant souterrain, qu'on doit prendre cette précaution, soit en maçonnant le pied-droit d'aval, soit en jetant de la glaise derrière; quant à celui d'amont, on fera bien de le garnir de gros graviers où menues pierres qui empêcheront les terres et sables de pénétrer dans la pierrée et de l'obstruer.

Il arrive quelquefois qu'on ne peut suivre la direction normale de la pierrée, et que le fond de glaise se trouve sensiblement inférieur à la ligne de pente. Il faut alors, si l'on ne veut pas perdre l'eau qui s'échapperait sous le radier, descendre les pieds-droits jusqu'au niveau du sol perméable, et former une espèce de barrage de la vallée en maçonnant le pied-droit d'aval; on pourra d'ailleurs remplir l'intervalle des pieds-droits par des pierres sèches pour résister à la poussée du terrain (fig. 58). Enfin nous devons faire observer que les précautions précédentes ne sont nécessaires que quand on veut obtenir le plus d'eau possible, et qu'une pierrée qui ne s'appuie même pas sur le sol imperméable et dont la direction est quelconque, amène toujours de l'eau. En effet, par la propriété qu'elle a de lui donner une plus grande vitesse que celle qu'elle possède dans le terrain perméable, elle fait nécessairement baisser le plan d'eau de ACB en AC′B′ (fig. 59); le courant naturel qui avait pour hauteur BH et qui a encore cette hauteur à une certaine distance en amont n'a plus que B′H; la différence de hauteur BB′ correspond au volume enlevé par la pierrée.

Pour qu'une pierrée absorbe complétement l'eau qui traverse le plan

Digitized by Google

vertical passant par son axe, il n'est pas nécessaire qu'elle soit percée d'un grand nombre d'orifices. En effet, imaginons (fig. 60) la nappe coupée par une tranchée, dont les parois verticales sont percées d'une infinité de petits trous correspondant aux anciens filets fluides, nous remarquerons qu'au point où ils traversent la paroi d'amont, les conditions du mouvement sont complétement changées. La pression due à la partie postérieure du filet étant supprimée, le débit se trouve considérablement augmenté, et l'on se rend facilement compte comment la ligne ACB devient la ligne AC'B', et comment il n'y a plus que les orifices situés dans la partie C'*p* qui débitent. Mais on conçoit aussi que, quels que soient le nombre et la grandeur de ces orifices, on ne pourra jamais obtenir un débit plus grand que celui donné par la couche aquifère. Les choses se passent comme pour le débit des conduites, lequel, à partir d'une certaine limite, est à peu près indépendant du nombre et de la grandeur des orifices. Il suit de là qu'on peut faire remplir aux aqueducs les fonctions de pierrées toutes les fois qu'ils traversent des couches aquifères où l'eau se trouve plus élevée qu'elle ne l'est dans leur intérieur. Il suffit pour cela d'ouvrir, de distance en distance, dans leurs parois d'amont, des barbacanes par lesquelles l'eau puisse y pénétrer. Elles absorberont alors toute celle qui est au-dessus du niveau de l'aqueduc, si elles sont assez larges et assez multipliées pour que le niveau C'B' que l'eau sera obligée de prendre en amont du pied-droit ne dépasse pas l'extrados de la voûte. On voit aussi par là qu'on peut substituer aux pierrées ordinaires beaucoup d'autres systèmes qui auraient le même résultat. Ainsi, les tuyaux de drainage, dans lesquels l'eau ne peut s'introduire que par le joint imparfait qui résulte de leur simple juxta-position ou d'un court emboîtement, suffisent parfaitement pour dessécher le terrain supérieur et conduire à l'aval l'eau qu'ils reçoivent. La fig. 61 représente la disposition adoptée par M. Belgrand pour recueillir sous le sol les sources qui alimentent la distribution d'Avallon.

Il n'est pas nécessaire qu'un aqueduc traverse une nappe souterraine pour qu'il puisse en recevoir les eaux; il suffit évidemment qu'il soit inférieur à son plan d'eau; on peut alors les y amener au moyen d'aqueducs, de pierrées et d'embranchements secondaires. Il en est de même pour une conduite forcée, toutes les fois que la nappe est supérieure à la ligne de charge. En branchant un tuyau qui s'élève sur le coteau au-dessus de cette ligne, on aura un réservoir libre, dans lequel on pourra amener la nappe souterraine par le même procédé.

Digitized by Google

112. Quoique les égouts paraissent étrangers à la question de la distribution des eaux, nous croyons devoir dire un mot de leur construction, parce que ce sont des galeries destinées à la conduite des eaux, et que si elles ne sont pas indispensables à une distribution, elles en sont souvent la conséquence. Ce que nous avons dit plus haut nous permettra d'ailleurs d'être très-court sur ce sujet.

La seule différence qui existe entre les égouts et les aqueducs, c'est que, dans ces derniers, l'eau ne change pas de volume et est à peu près limpide, tandis que dans les égouts son volume est très-variable et qu'elle tient en suspension beaucoup de matières étrangères qui finissent par se déposer. Les égouts doivent donc toujours être assez grands pour permettre le passage d'un homme ou d'un enfant, à moins qu'ils ne soient très-courts et disposés de manière à être curés avec de longs racloirs. La section des égouts a été, de la part des ingénieurs du service municipal, l'objet d'études successives que l'expérience a éclairées de ses leçons.

Les fig. 62, 63, 64 représentent les types admis sous la direction de M. Emmery, et suivant lesquels sont exécutés la plupart des égouts de Paris. Après lui, on a légèrement modifié les formes précédentes (fig. 65), en donnant à l'égout une hauteur suffisante pour que tout ouvrier pût le parcourir debout. Les égouts de Paris ont, en général, peu de pente; ils sont soumis à un curage continu. Il importe que les ouvriers ne soient pas obligés, en baissant la tête, d'aspirer les miasmes fétides qui se dégagent; cette augmentation de hauteur est donc parfaitement motivée. Cependant, nous devons faire observer qu'elle s'est traduite en une dépense presque proportionnelle à l'augmentation de section. Frappé de l'insuffisance de la section de la plupart des égouts en temps d'orage, de la difficulté d'y placer des conduites de distribution, nous avons cherché à en augmenter la largeur sans en augmenter la dépense : c'est ce qui nous a porté à adopter le type représenté par la fig. 66, qu'on exécute depuis deux ans à Paris. Nous avons conservé provisoirement les mêmes épaisseurs de maçonnerie; mais, par les considérations que nous avons exposées plus haut, notre intention est de la réduire à $0^m,30$, et de la rendre uniforme dans tout le périmètre de la paroi, en appareillant le moellon perpendiculairement à l'intrados. L'épaisseur de $0^m,30$ n'est pas même nécessaire pour la solidité d'aussi petites sections, mais on sait qu'au-dessous de cette limite, pour de la maçonnerie de moellons ordinaires, la diminution du cube est compensée par l'aug-

Digitized by Google

mentation de la main-d'œuvre. Aussi nous ne l'augmentons pas pour des sections plus considérables, et nous n'hésitons pas à la réduire lorsque nous pouvons disposer de matériaux qui se prêtent à cette économie. C'est ce que démontrera l'examen des fig. 67, 68, 69, 70 et 71, qui représentent les deux premières des égouts plus grands, et les autres des égouts en béton de ciment.

Si l'on compare la fig. 62, qui représente l'ancien égout de grande section, à la fig. 66, qui représente l'égout ordinaire actuel, on reconnaîtra que, d'une part, la capacité a été portée de $1^{m.c.}$,67 à $1^{m.c.}$,93, tandis que la maçonnerie a été diminuée dans le rapport de 2,88 à 2,05. Si l'on fait la même comparaison avec la fig. 64, ancien égout de petite section, on verra que la capacité a été presque doublée, tandis que la maçonnerie a été diminuée de 10 pour 100. Si nous insistons sur ce sujet, c'est qu'évidemment les formes qui conviennent aux égouts sont aussi celles qui conviennent aux aqueducs, aux galeries, etc., et que nous tenons à faire voir ce qu'on pourrait obtenir par ce qu'on a déjà obtenu.

La figure 72 représente la section de l'égout Rivoli latéral à la Seine. Deux banquettes permettent de le parcourir à pied sec dans les temps ordinaires; les angles de cette banquette, protégés par une forte cornière en fer, forment les rails sur lesquels circuleront les wagons qui emporteront les produits du curage, et pourront, comme les bateaux qui servent à celui des canaux, recevoir à l'arrière-train une vanne mobile. La profondeur de la cuvette n'est pas constante; ayant 0^{m},30 à l'origine de l'égout, elle atteint 1^{m} à l'aval. Pour remédier au défaut de solidité qui peut résulter de cet approfondissement, nous avons adopté pour la partie inférieure de l'égout une section plus large, représentée par la fig. 72 *bis*.

La fig. 73 représente l'égout-galerie de Strasbourg, qui prolonge la galerie Saint-Laurent; nous avons réuni en une seule conduite les nombreux tuyaux que renferme cette dernière. Cet égout, qui doit communiquer avec l'égout Rivoli, et servir de décharge à l'égout de ceinture de Paris, est muni d'une cuvette et d'un chemin de fer.

Nous donnons, dans la fig. 74, la section de l'égout de la rue des Écoles. Par sa position sur le flanc du coteau de la rive gauche, il est destiné à recevoir moins d'eau que les précédents, ce qui nous a déterminé à ne lui laisser au-dessus des banquettes que la hauteur nécessaire pour le passage d'un homme. Un côté de l'égout est destiné à recevoir des conduites d'eau

Digitized by Google

et de gaz, si l'on parvient à résoudre le problème de rendre ces dernières imperméables. Cet égout a, comme les précédents, une cuvette et un chemin de fer. L'administration municipale paraît décidée à adopter ce type d'égout pour les grandes lignes qui traversent Paris. L'enlèvement des parties solides fournies par le curage des égouts se fait aujourd'hui à ciel ouvert par les trappes de service, ce qui salit et encombre la voie publique et offre aux yeux un spectacle repoussant. Une fois les galeries à chemin de fer établies, cet enlèvement pourra se faire souterrainement. Au moyen de brouettes, les parties solides seront amenées jusqu'au chemin de fer, mises en wagon et portées jusqu'à la Seine, où se trouveront des issues convenablement ménagées pour ce service. On pourra alors supprimer les trappes d'égout, dont nous signalerons tout à l'heure les inconvénients.

Les figures désignées par le n° 75 donnent les sections des égouts, tels qu'on les exécute à Londres aujourd'hui. Ces égouts sont en briques et ciment, les parties inférieures sont assemblées d'avance suivant le profil ; la forme de ces égouts est heureuse, mais nous en croyons les dimensions beaucoup trop petites. Les égouts de Londres sont à des profondeurs considérables, parce qu'ils reçoivent les eaux des étages souterrains ; leur dépense ne serait donc pas sensiblement augmentée par une plus grande dimension en hauteur, ce qui permettrait de les parcourir moins péniblement. Les ingénieurs anglais paraissent croire que les petits égouts sont moins sujets à s'encombrer, parce que l'eau y a plus de vitesse : c'est, selon nous, une erreur. Quand les égouts ont la forme ovoïde, ils sont d'autant plus favorables à la vitesse que leur section est plus grande, car pour un cube donné, la section mouillée est plus petite dans le grand égout que dans le petit.

Les égouts, à moins qu'ils n'atteignent de grandes profondeurs, se construisent ordinairement en tranchée. On coupe alors les terres presque verticalement, et on les étaye comme nous l'indiquons dans la fig. 76. Après avoir descendu à une profondeur telle que les terres se tiennent encore, par le seul effet de la cohésion, on place des plats-bords horizontaux qu'on applique aux parois de la fouille, en laissant entre eux un intervalle d'autant plus grand, que les terres ont plus de consistance (en général moitié vide, moitié plein). Sur ces plats-bords on pose des couchis verticaux de 2^m en 2^m de distance (cette distance peut varier suivant les circonstances locales), et entre les couchis on force des étrésillons correspondant aux plats-bords. Les couchis ne comprennent en général que deux plats-bords, pour

Digitized by Google

que l'étayement puisse être enlevé par parties, à mesure que la maçonnerie s'élève.

Les égouts comportent quelques travaux accessoires, tels que les entrées d'eau et les trappes de service. Les entrées d'eau s'opèrent à l'aide de deux petits branchements (fig. 77, *bis, ter, quater*...) terminés par deux cheminées correspondant à la bordure du trottoir. Cette cheminée est couronnée par une bavette évidée en arc de cercle de $1^m,20$ de corde et de $0^m,05$ de flèche, par laquelle les eaux tombent dans l'égout, et d'une bordure de $1^m,80$ de longueur, dans la face inférieure de laquelle on pratique un évidement (fig. 77 *ter*). Une pierre dite dosseret, qui porte sur le mur de fond, forme le derrière de la cheminée. Les dessins de la planche VII suffisent pour faire comprendre les détails de cette construction.

Les trappes de service (fig. 78, *bis, ter*) sont établies de 50^m en 50^m. On laisse une lacune dans une voûte et on élève sur les pieds-droits une cheminée de $0^m,80$ d'ouverture carrée sous le pavé. On les couronne par un cadre en bois destiné à porter le châssis en fonte. Les pièces de bois, de $0^m,15$ sur $0^m,15$, sont en cœur de chêne et goudronnées. Les châssis en fonte, de $0^m,11$ d'épaisseur, présentent un rectangle de $0^m,94$ sur $0^m,822$; l'ouverture est de $0^m,60$ de diamètre; son pourtour porte une feuillure de de $0^m,015$ de largeur et de $0^m,07$ de hauteur, sur laquelle porte le tampon. Cette pièce (fig. 79) est légèrement conique; le diamètre de la face inférieure est de $0^m,605$, celui de la face supérieure de $0^m,615$; l'épaisseur du tampon est $0^m,07$ sur son pourtour extérieur, et de $0^m,08$ à son point milieu. Le centre de la pièce est percé d'une lumière dans laquelle on introduit un levier pour soulever le tampon.

Le tampon est à jour pour les égouts, afin de les aérer; il est plein pour les regards de distribution, dont nous parlerons plus loin. Lorsque la trappe correspond à un trottoir, le châssis et le tampon sont plus larges, et l'on suit les dispositions indiquées par la fig. 80.

Les cheminées des trappes servent soit aux réparations, soit au curage des égouts; les hommes y descendent au moyen d'échelles; on enlève les produits du curage à l'aide de seaux attachés à une corde. Quand les réparations sont considérables, on place un treuil en bois sur l'ouverture, pour descendre les matériaux et enlever les débris. Il résulte de la position des trappes au milieu des rues une grande gêne pour la circulation, toutes les fois qu'on s'en sert. De plus, les tampons, à force d'être manœuvrés,

Digitized by Google

prennent du jeu, s'enfoncent dans les châssis, et s'ébranlent avec bruit au passage des voitures. A Londres, la cheminée sur l'axe de l'égout se termine par une grille fixe, et l'on entre dans l'égout au moyen d'escaliers débouchant sur les trottoirs. Nous croyons ce système préférable, mais il suppose que le curage ne se fait que par les extrémités des égouts; car si les égoutiers devaient avoir une issue sur les trottoirs, ce système présenterait plus d'inconvénients que d'avantages.

Si nous avons donné quelques développements à cette question des égouts, c'est qu'en dehors de leur destination spéciale, ces ouvrages nous ont paru devoir fournir des types nouveaux pour les aqueducs ou les galeries qu'on pourrait avoir à construire, et qu'il nous a paru utile de faire connaître par un examen raisonné les progrès qu'on avait pu faire dans la construction de ces travaux souterrains.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

DU MOUVEMENT VARIÉ DANS LES CONDUITES. — DES POMPES. — DES CHATEAUX D'EAU. DES RÉSERVOIRS D'AIR. — DES MACHINES A VAPEUR, SYSTÈME DE CORNWALL.

113. Jusqu'à présent nous n'avons considéré que le mouvement uniforme de l'eau dans les tuyaux, mouvement qui se produit en général très-promptement après le commencement de l'écoulement. C'est, en effet, le seul à considérer dans l'étude d'une distribution; mais pour les machines élévatoires, qui ont presque toutes des mouvements alternatifs, il est souvent nécessaire de se rendre compte des phénomènes du mouvement varié, qui se produit dans les premiers instants où la masse liquide commence à prendre de la vitesse.

Considérons une conduite qui fait communiquer deux réservoirs dont le niveau varie en raison de ce qu'ils perdent ou reçoivent (fig. 81). Appelons :

ζ la différence de niveau des deux réservoirs, à l'origine du mouvement;
z cette différence au bout du temps t;
ω la section de la conduite qui met les deux réservoirs en communication;
S sa longueur;
Ω la section constante du premier réservoir;
l sa hauteur variable;
Ω', l' les quantités analogues pour le second réservoir;
u, v, u' les vitesses dans le premier réservoir, dans la conduite et dans le second réservoir;
s l'espace parcouru par une tranche d'eau de la conduite.

Si l'on considère le mouvement d'une tranche élémentaire $\rho\omega ds$ qui passe du premier réservoir dans le second, en tombant de z, et dont la vitesse u devient u', on aura :

$$\Sigma mvdv = \rho\omega\left(z - \frac{u'^2 - u^2}{2g}\right)ds;$$

Digitized by Google

et, d'après les notations ci-dessus :

$$\frac{\rho}{g}(\Omega l u du + \omega S v dv + \Omega' l' u' du') = \rho\omega\left(z - \frac{u'^2 - u^2}{2g}\right) ds.$$

Mais on a :

$$z = \zeta - \omega\left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'}\right) s, \quad \Omega u = \omega v = \Omega' u' ;$$

posant $\omega\left(\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega'}\right) = a$, il vient :

$$\frac{vdv}{g}\left(S + l\frac{\omega}{\Omega} + l'\frac{\omega}{\Omega'}\right) = \left[\zeta - \frac{v^2}{2g}\omega^2\left(\frac{1}{\Omega'^2} - \frac{1}{\Omega^2}\right) - as\right] ds. \qquad (45)$$

Considérons 1° le facteur $S + l\frac{\omega}{\Omega} + l'\frac{\omega}{\Omega'}$ comme constant, soit parce que les quantités l et l' sont très-petites, soit parce qu'elles n'éprouvent que de légères variations; 2° les sections Ω et Ω' comme assez grandes ou assez peu différentes pour qu'on puisse négliger $\frac{\omega^2}{\Omega'^2} - \frac{\omega^2}{\Omega^2}$, l'équation précédente se réduira à :

$$vdv = \frac{g}{\zeta}(\zeta - as)\, ds ;$$

et l'on en déduira facilement :

$$V = \sqrt{2g\frac{\zeta}{S}s\left(1 - \frac{as}{2\zeta}\right)}, \quad t = \sqrt{\frac{S}{ga}} \arccos\left(1 - \frac{as}{\zeta}\right), \qquad (46)$$

équations qui déterminent les circonstances de ce mouvement. Nous allons signaler les plus remarquables.

A l'origine du mouvement, la vitesse croît avec l'espace parcouru suivant la loi ordinaire de la gravité, seulement cette dernière est affaiblie dans le rapport de ζ à S. C'est, pour ce mouvement, un caractère général qui va se reproduire dans presque tous les exemples qui vont suivre. On voit que, quand la conduite qui réunit deux réservoirs est longue, il faut un temps très-appréciable pour que la vitesse arrive à son état normal.

Soit, par exemple, une conduite de 5,000^m de longueur, ayant une charge de 5^m, on aura :

$$V = \frac{\zeta}{S} g t = 0^m,0098.$$

Ainsi, au bout de 10″ la vitesse ne serait pas encore de 10 centimètres, et il faudrait beaucoup plus d'une minute pour avoir une vitesse de 0^m,60; car nous négligeons ici, à part la variation de niveau entre les réservoirs, la résistance de la paroi des tuyaux. Nous reviendrons sur ce calcul. Pour

Digitized by Google

le moment, nous ne voulons que donner une idée de l'effet produit par l'inertie de la masse à mettre en mouvement, effet qui a une très-grande importance dans le jeu des pompes.

Considérant maintenant les variations de la vitesse pendant le mouvement, nous voyons qu'après avoir augmenté de moins en moins jusqu'à $as=\zeta$, elle décroît ensuite et repasse par les mêmes valeurs, pour redevenir nulle, comme à l'origine du mouvement, pour $as=2\zeta$; c'est-à-dire que la surface AB descend en A'B', pendant que la surface ab remonte en $a'b'$, ainsi de suite, et qu'on a $AM=MA'$ et $am=ma'$. La même différence de niveau ζ, s'étant reproduite en sens contraire, donne lieu à un mouvement en retour exactement semblable au premier; on obtiendrait par conséquent, avec le système de la fig. 81, un nombre d'oscillations infini, sans le frottement dû à la paroi des tuyaux.

La vitesse maximum V, le temps T que l'eau met à faire un quart d'oscillation, et la vitesse moyenne $V_m=\frac{\zeta}{aT}$, sont, d'après les équations (46):

$$V=\zeta\sqrt{\frac{g}{aS}},\quad T=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{S}{ga}},\quad V_m=\frac{2}{\pi}V=0{,}637\,V. \qquad (47)$$

On remarquera 1° que la durée d'une oscillation est complétement indépendante de son amplitude ζ, et a la même expression que celle d'un pendule dont la longueur serait $\frac{S}{a}$; 2° que la vitesse moyenne qui, dans le cas de la chute des graves, est la moitié de la vitesse maximum, en est ici plus des 3/5.

Pour mieux nous rendre compte des circonstances de ce mouvement oscillatoire, sur lequel nous aurons occasion de revenir plusieurs fois dans ce chapitre, représentons-le géométriquement. Sur la ligne verticale AMA' (fig. 82), proportionnelle à l'amplitude de l'oscillation, élevons des perpendiculaires pn, proportionnelles à la force accélératrice $\frac{g}{S}(\zeta-as)$, nous aurons l'oblique CMD. Les trapèzes tels que ApnC représenteront le travail de cette force depuis l'origine de l'oscillation. Ces figures étant proportionnelles au carré de la vitesse, on aura la représentation géométrique de cette quantité en prenant pn' égal au côté du carré équivalent au trapèze, et on pourra construire la courbe des vitesses An'NA', symétrique par rapport à l'axe MN qui lui est normal, et tangente aux lignes AC et

Digitized by Google

A'D. Si, au lieu d'être soumise à la force accélératrice décroissante AC, la masse l'était à la force constante $\frac{1}{2}$AC, qui donnerait la même vitesse maximum MN, la courbe des vitesses serait une parabole (tracé ponctué), intérieure à la courbe An'N; c'est par ce motif que la vitesse moyenne relative à cette dernière courbe, au lieu d'être seulement la moitié de la vitesse maximum, en est une fraction exprimée par $\frac{2}{\pi} = 0{,}637$, et que le temps de la chute se trouve abrégé dans le même rapport. Si la force accélératrice était constamment égale à AC, son travail serait double, et la vitesse maximum deviendrait $V\sqrt{2} = 1{,}41V$, de sorte qu'on aurait pour vitesse moyenne 0,71V; d'où il résulte que si la force accélératrice, au lieu de décroître régulièrement suivant la ligne CMD, décroissait suivant une courbe Crr'D, la vitesse moyenne serait comprise entre 0,637 V et 0,71V, s'approchant d'autant plus de cette dernière quantité que la courbe s'éloignerait plus de la droite CD. On voit que la durée de l'oscillation dépend beaucoup plus de la valeur initiale que des valeurs intermédiaires de la force accélératrice, ce qui se comprend facilement, puisque la vitesse acquise se conserve. On remarquera que cette durée est d'ailleurs constante, quelle que soit la force accélératrice, pourvu que l'angle AMC reste le même; car alors les vitesses moyennes croissent dans le même rapport que les espaces parcourus. Le mouvement du pendule, dont les lois sont exposées dans tous les traités de mécanique, n'est qu'un cas particulier des mouvements oscillatoires qui se produisent sous l'influence d'une force qui croît et décroît périodiquement.

Le coefficient a qui entre dans les formules (46) et (47) dépend uniquement du rapport qui existe entre les sections des tuyaux. Le cas qui se présente le plus souvent dans la pratique est celui où une des sections est très-grande par rapport aux autres; on a alors :

$$\left.\begin{array}{c} a = \frac{\omega}{\Omega} \text{ et } v = \sqrt{2g\frac{s}{S}\left(\zeta - \frac{\omega}{2\Omega}s\right)},\ t = \sqrt{\frac{S\Omega}{g\omega}} \arccos\left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{s}{\zeta}\right), \\ V = \zeta\sqrt{\frac{g\Omega}{S\omega}},\quad T = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{S\Omega}{g\omega}},\quad V_m = 0{,}637\,V. \end{array}\right\} \quad (48)$$

Si, au lieu de la vitesse de l'eau dans la conduite, on voulait avoir celle qui a lieu dans un des réservoirs d'extrémité, il viendrait, au moyen des relations $\omega v = \Omega u$, $\omega s = \Omega \sigma$:

Digitized by Google

$$\left.\begin{array}{ll} u=\sqrt{2g\frac{\omega}{\Omega}\cdot\frac{\sigma}{S}\left(\zeta-\frac{\sigma}{2}\right)}, & t=\sqrt{\frac{S\Omega}{g\omega}}\ \text{arc}\cos\left(1-\frac{\sigma}{\zeta}\right), \\ U=\zeta\sqrt{\frac{g\omega}{S\Omega}}, & T=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{S\Omega}{g\omega}}=0{,}50\sqrt{\frac{S\Omega}{\omega}}. \end{array}\right\}\quad(49)$$

Si, dans la fig. 81, le niveau du premier réservoir pouvait être regardé comme sensiblement constant à cause de sa grandeur, l'horizontale AB deviendrait l'axe des oscillations, c'est-à-dire que l'eau s'élèverait au-dessus de cette ligne d'une quantité égale à ζ.

114. M. de Caligny a inventé plusieurs machines à élever l'eau, fondées sur les propriétés des mouvements oscillatoires. Voici comment, dans ces machines, l'eau peut s'élever à une hauteur quelconque. Deux réservoirs indéfinis AB, FG (fig. 83), dont la différence de niveau est ζ, sont réunis par un tuyau sur lequel est implantée une conduite ascensionnelle qui, au moyen d'un clapet C, peut être mise en communication avec l'un ou avec l'autre réservoir. Imaginons cette conduite mise en communication avec le réservoir inférieur, l'eau se tiendra à ζ au-dessous du réservoir supérieur, de sorte qu'en ouvrant la communication avec ce réservoir, elle montera à ζ au-dessus, ou 2ζ au-dessus du réservoir inférieur; elle descendra donc à 2ζ au-dessous en ouvrant la communication avec ce dernier; elle se trouvera alors à 3ζ au-dessous du réservoir supérieur et pourra s'élever de la même quantité au-dessus, ou à 4ζ, etc. Si donc la colonne ascensionnelle était suffisamment profonde, l'eau parviendrait à une hauteur indéfinie au-dessus du niveau de la source.

D'autres machines sont établies sur des principes analogues, mais nous ne croyons pas que les unes ni les autres aient été appliquées à des distributions d'eau. Nous nous contenterons donc d'appliquer les formules précédentes au cas des pompes.

115. Considérons d'abord les circonstances qui se présentent dans l'aspiration. Lorsque la pompe est amorcée et complétement purgée d'air, et qu'on soulève le piston rapidement, l'eau peut s'élever dans le corps de pompe à $2H_a - H'$ au-dessus du réservoir inférieur, H' étant la hauteur initiale du piston (fig. 84); c'est-à-dire beaucoup plus haut que la hauteur due à la pression atmosphérique, deux fois plus dans le cas où le piston descendrait jusqu'au bassin inférieur. Mais, pour que ce phénomène se produisît, il faudrait que, comme nous venons de le dire, le piston fût enlevé rapidement, que le vide fût parfait, qu'il n'y eût pas de perte

Digitized by Google

de charge par suite des frottements de la paroi, conditions difficiles à réaliser. C'est pour cela que dans les pompes la hauteur de l'aspiration ne dépasse guère 7 à 8^m.

Le temps nécessaire pour que l'eau remplisse le corps d'une pompe placée dans ces conditions, serait donné exactement par les équations (49); mais il est plus simple de supposer la force accélératrice constante, et égale à la charge dans la position moyenne du piston.

Soient :

H' la hauteur du tuyau d'aspiration;

$\zeta' = H_a - H - l$ la hauteur qui représente la pression sous le piston dans sa position moyenne;

ω' sa section;

S' sa longueur;

$2l$ la longueur du corps de pompe;

Ω_0 sa section;

u et v les vitesses dans le corps de pompe et dans le tuyau d'aspiration;

U_m la vitesse moyenne de l'eau dans ce tuyau;

σ l'espace parcouru par l'eau dans le corps de pompe;

T le temps que l'eau met à remplir le corps de pompe;

on aura pour l'équation du mouvement de l'eau, en supposant que le piston fasse le vide au-dessous de sa surface :

$$\frac{\rho}{g}(\omega' S' v dv + \Omega_0 \sigma u du) = \rho \Omega_0 \zeta' d\sigma;$$

d'où on déduira, comme nous l'avons fait pour l'équation (45),

$$\left(S' + \frac{\omega'}{\Omega_0}\sigma\right) u du = g \frac{\omega'}{\Omega_0} \zeta' d\sigma;$$

intégrant jusqu'à $\sigma = 2l$, et négligeant $\frac{\omega}{\Omega_0}\sigma$, sauf à prendre pour S' une valeur un peu plus grande, nous aurons :

$$U = 2\sqrt{\frac{g\zeta'}{S'}\frac{\omega'}{\Omega_0} l}, \quad U_m = \sqrt{\frac{g\zeta'}{S'}\frac{\omega'}{\Omega_0} l},$$

$$T = \frac{2l}{U_m} = 2\sqrt{\frac{S'\Omega_0 l}{g\omega'\zeta'}}.$$

Supposons $H' = 6^m 33$, $l = 1$, ce qui donne $\zeta' = 3$, $\Omega_0 = 4\omega$, nous aurons :

$$T = 0{,}73\sqrt{S'}.$$

Digitized by Google

En supposant le tuyau d'aspiration vertical, on aurait $\sqrt{S'} = 2^m,70$ et $t = 2''$ environ. En réalité, ce temps serait beaucoup plus long, car la charge ζ' se trouverait diminuée par le frottement de la paroi, par le changement de section, et enfin par la vitesse de l'eau. Avec les données numériques que nous venons d'adopter, il faudrait certainement $2'',5$ pour que l'eau arrivât au sommet de la course du piston ; en supposant une durée égale à celle de la descente du piston, on voit qu'une pompe dans ces conditions ne pourrait pas donner plus de douze coups par minute. Pour en obtenir davantage, il faudrait augmenter le diamètre du tuyau d'aspiration, diminuer sa hauteur, etc.

Si la conduite d'aspiration, au lieu d'être verticale, avait une certaine longueur, 900^m par exemple, il faudrait plus de 22 secondes pour que le corps de pompe pût se remplir. En réalité même il faudrait beaucoup plus, car dans ce cas il ne serait plus permis de négliger la perte de charge produite par le frottement le long d'une aussi longue paroi. Pour faire marcher avec une vitesse convenable une pompe ainsi établie, il faudrait trouver le moyen d'entretenir la vitesse dans la conduite d'aspiration pendant le refoulement, pour n'avoir pas à vaincre l'inertie à chaque coup de piston. C'est à quoi on arriverait au moyen d'un réservoir pneumatique branché sur la conduite d'aspiration, un peu au-dessous du corps de pompe, comme nous le représentons dans la fig. 84. On maintiendrait de l'air suffisamment dilaté dans la partie supérieure de ce réservoir au moyen de l'eau de la conduite ascensionnelle et de manœuvres convenables de robinet, et l'eau, pendant l'aspiration, passerait facilement dans le corps de pompe.

Les détails dans lesquels nous allons entrer au sujet des réservoirs d'air destinés à faciliter le refoulement, nous dispensent de nous étendre davantage sur ce sujet ; d'autant plus que jusqu'à présent on n'a eu que rarement recours à ces appareils pour les conduites d'aspiration, à cause des inconvénients qu'elles présentent, lorsqu'elles ont une grande étendue [1].

Quand la source qu'on veut élever est éloignée, on l'amène directement dans le puisard des pompes, soit par une conduite ordinaire, soit par un

[1] Des appareils de ce genre ont été établis, l'un sur la conduite d'aspiration de la pompe du Gros-Caillou, l'autre sur celle de la pompe de la Bièvre ; on s'est jusqu'ici borné à constater que leur application facilite notablement le jeu des pompes, mais on ne s'est pas encore rendu compte d'une manière précise des avantages qu'ils procurent et des conditions dans lesquelles ils devraient être construits.

Digitized by Google

aqueduc, et on l'aspire ensuite par un tuyau vertical qui, n'ayant que quelques mètres de longueur, peut toujours avoir un diamètre suffisant pour que le corps de pompe soit facilement rempli pendant la durée de l'aspiration.

116. Occupons-nous maintenant du refoulement de l'eau dans une longue conduite, que nous appellerons conduite ascensionnelle.

Soient :

Ω_0 la surface du piston d'eau (fig. 84);
$2l$ sa course;
Q le volume d'un coup de piston;
ω la section de la conduite ascensionnelle;
S sa longueur;
s l'espace parcouru par l'eau dans cette conduite depuis le moment où le piston d'eau a commencé à descendre;
Z la différence de niveau entre les deux réservoirs, augmentée de la perte de charge Y qui a lieu dans la conduite;
H la hauteur d'eau qui représente la pression sur le piston d'eau dans sa position moyenne;
h la hauteur d'eau qui représente la pression sous le piston d'eau dans sa position moyenne;
$h'=H-h$ la surcharge du piston;
v la vitesse de l'eau dans la conduite ascensionnelle;
V_0 et V_1 la vitesse au commencement et à la fin de la course;
θ le temps de la descente du piston;
θ' le temps de l'ascension, compris les arrêts qui pourraient avoir lieu au commencement et à la fin de la course.

Pour simplifier les calculs suivants, dont le but principal est de faire ressortir les difficultés mécaniques qui résultent de la grandeur de la masse à mettre en mouvement, nous négligerons la différence de pression due au changement de position du piston d'eau.

Nous aurons alors, en considérant les pressions qui agissent sur la colonne ascensionnelle :

$$\frac{\rho\omega S}{g} v dv = \rho\omega(H-h) ds;$$

d'où nous tirerons :

$$v dv = \frac{h'}{S} g ds, \quad dv = \frac{h'}{S} g dt, \quad ds = V_0 dt + g\frac{h'}{S} t dt,$$

Digitized by Google

équations qui démontrent que la vitesse de l'eau dans la conduite ascensionnelle suit la loi de la chute des graves; seulement, l'accélération constante g se trouve atténuée dans le rapport de h' à S, ce qui ralentit la vitesse et augmente la durée de la chute du piston. Il est facile de voir que lorsque S est très-grand, cette durée peut être augmentée dans des proportions incompatibles avec les moyens dont on dispose. Des équations précédentes, on tire :

$$v^2-V_0^2=2g\frac{h'}{S}s,\quad v-V_0=g\frac{h'}{S}t,\quad S=V_0t+\frac{1}{2}g\frac{h'}{S}t^2;$$

et pour la fin de la course du piston, en remarquant que, à ce moment, $\omega s=2\Omega_0 l=Q$,

$$V^2-V_0^2=2g\frac{h'}{S}\frac{Q}{\omega},\quad V-V_0=g\frac{h'}{S}\theta,\quad \frac{Q}{\omega}=V_0\theta+\frac{1}{2}g\frac{h'}{S}\theta^2.\quad (50)$$

Pendant que le piston remonte, l'équation du mouvement de l'eau dans la conduite ascensionnelle est :

$$mvdv=-\omega Zds.$$

On en déduit :

$$v^2-V_2=-2g\frac{Z}{S}s,\quad v-V=-g\frac{Z}{S}t,\quad S=Vt-\frac{1}{2}g\frac{Z}{S}t^2.$$

Au bout d'un certain temps t', la vitesse redeviendra ce qu'elle était à l'origine de la descente du piston d'eau; ce temps pourra être plus petit que θ', si V_0 est nul; on aura donc :

$$V^2-V_0^2=2g\frac{Z}{S}s',\quad V-V_0=g\frac{Z}{S}t',\quad S'=Vt'-\frac{1}{2}g\frac{Z}{S}t'^2.$$

De ces équations, et des équations (50), on tire :

$$\omega s'z=2\Omega_0 lh',\quad t'=\frac{h'}{Z}\theta,$$

c'est-à-dire que le volume d'eau $\omega s'$, élevé pendant l'ascension du piston, représente exactement celui qui est dû au travail de la surcharge, ce qui était du reste facile à prévoir.

Ainsi, le produit théorique d'une pompe foulante n'est pas le volume engendré par le piston, mais ce volume augmenté du produit du travail de la surcharge. Si Q est ce volume, le produit est :

$$Q\left(1+\frac{h'}{z}\right)=Q\left(1+\frac{t'}{\theta}\right).$$

Si l'on prend le cas le plus favorable, celui où V_0 n'est pas nul, et où $t'=\theta'=\theta$, on aurait 2Q pour le produit d'un coup de piston complet; mais

Digitized by Google

alors on aurait aussi $h' = z$, c'est-à-dire que la pression sur le piston devrait être double de celle qui est due à la hauteur à franchir. Or, c'est là un inconvénient grave, puisque, pour y remédier, il faudrait doubler la force des organes de la pompe, serrer les garnitures des pistons, et, par conséquent, augmenter leur frottement; enfin, la difficulté de rendre uniforme la résistance serait doublée. On remarquera, en effet, que pendant l'aspiration l'effort à faire n'est proportionnel qu'à la hauteur à laquelle elle se fait, 7 à 8^m tout au plus. Si l'on avait de l'eau à élever à 50^m, par exemple, pendant l'aspiration l'effort serait de 6^m, et de 100^m pendant le refoulement. Il faudrait, pour le rendre uniforme, ajouter une surcharge de 47^m du côté du piston.

117. Nous venons de calculer le mouvement d'une pompe placée dans des circonstances exceptionnelles, où la vitesse du piston peut croître d'une manière uniforme depuis le haut jusqu'au bas de la course, et décroître de la même manière. Or, il n'en est pas ainsi ordinairement : presque toutes les pompes mues par des machines sont astreintes à avoir des vitesses nulles au haut et au bas de la course, et une vitesse maximum au milieu.

Considérons, par exemple, une pompe attelée à une machine rotative et appelons (fig. 85) :

w la vitesse angulaire du rayon auquel la bielle est attachée;
φ l'angle qu'il forme avec la verticale;
l le rayon de la bielle, égal à la moitié de la course du piston;
u la vitesse verticale du piston;
v la vitesse dans la conduite ascensionnelle;

on aura les relations :

$$u = lw \sin\varphi, \quad \Omega_0 u = \omega v, \quad v = \frac{\Omega_0}{\omega} lw \sin\varphi.$$

Si l'on suppose la vitesse de rotation w constante, on déduira de la dernière équation, en remarquant que $\frac{d\varphi}{dt} = w$:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\Omega_0}{\omega} lw^2 \cos\varphi;$$

mais on a :

$$dv = g\frac{h'}{S}\,dt.$$

De ces deux équations, on tire :

$$h' = 2\frac{\Omega_0}{\omega}\frac{l^2w^2}{2g}\frac{S}{l}\cos\varphi.$$

Digitized by Google

D'où l'on conclut que h' diminue avec φ, et devient nul pour $\varphi = 90°$; quand $\varphi = \rho$, on a :

$$h' = 2\frac{\Omega_0}{\omega}\frac{l^2 w^2}{2g}\frac{S}{l}. \qquad (51)$$

Avec les données suivantes, qu'on rencontre fréquemment dans les pompes mues par des machines $\Omega_0 = 2\omega$, $l = 0^m,50$, $lw = 1^m$, on aurait :

$$h' = 0,41\,S.$$

Ce qui veut dire que la hauteur de la surcharge serait des 2/5 environ de la longueur de la conduite ascensionnelle, 400^m pour $1,000^m$, 800^m pour $2,000^m$..., surcharge qui évidemment rendrait impossible la marche de la pompe.

On peut diminuer cet inconvénient en multipliant le nombre des pompes, car, pour un produit donné, la section Ω_0 du piston, et par conséquent la surcharge h' (51), sont en raison inverse de ce nombre, moitié pour deux pompes, le tiers pour trois... On peut d'ailleurs se rendre compte de ce résultat par un tracé graphique fort simple (fig. 86). Sur une ligne droite ABCD... développons la circonférence décrite par le bouton de la bielle, et élevons des ordonnées y proportionnelles aux vitesses de l'eau dans la conduite, nous formerons ainsi une sinusoïde ALMNB, dont l'équation sera $y = \frac{w}{\omega} Q \sin x$, le rapport $\frac{w}{\omega}$ devant y être considéré comme constant. Quand il n'y a qu'une seule pompe, le débit de la conduite ascensionnelle est intermittent, puisqu'il est nul pendant tout le temps de l'aspiration. C'est à cette période que correspond la partie de la sinusoïde qui est au-dessous de l'axe ABCD.

Maintenant, si l'on suppose le volume à débiter Q partagé entre un nombre n de pompes, chacune d'elles débitera $\frac{Q}{n}$ par course de piston et produira une vitesse $y = \frac{w}{\omega}\frac{Q}{n}\sin x$, équation qui représente une sinusoïde dont les ordonnées sont la n^{me} partie de celles qui étaient données par la pompe unique. Toutes les pompes donneront des sinusoïdes égales, les origines de deux sinusoïdes consécutives étant situées à la distance $\frac{\pi}{n}$. Ayant donc tracé ces courbes élémentaires, il suffira d'ajouter les ordonnées correspondant à la même abscisse pour obtenir la courbe qui représente la vitesse résultante dans la conduite ascensionnelle. On voit

Digitized by Google

facilement sur la figure 86 que, à mesure que le nombre des pompes augmente, celui des périodes de la vitesse augmente aussi, tandis qu'au contraire leur amplitude, l'inclinaison $\frac{dv}{dt}$ de la tangente à l'origine de ces périodes et, par conséquent, la surcharge du piston diminuent de plus en plus; on voit enfin qu'il faudrait un nombre infini de pompes pour arriver à obtenir une vitesse et une résistance uniformes.

Nous n'avons pas besoin de faire remarquer tous les embarras, tous les inconvénients, toutes les résistances qui naissent de la multiplicité des pompes; aussi, pour surmonter ces difficultés, les anciens constructeurs avaient généralement recours à un autre expédient, qui consistait à diminuer la masse de l'eau mise en mouvement par le piston.

118. Près des pompes, on construisait des tours au sommet desquelles on faisait monter la conduite ascensionnelle, qui dégorgeait dans une cuvette placée à la hauteur nécessaire pour desservir les orifices. Elle y était conduite par un tuyau spécial, dans lequel le mouvement de l'eau était indépendant de celui de la conduite ascensionnelle. Ainsi, par exemple, ayant à porter de l'eau à 3000^m de distance et à 20^m de hauteur, on faisait près des pompes une tour de 20^m, sur laquelle on plaçait une cuve, d'où partait la conduite de 3000^m de longueur. La quantité S des formules précédentes, qui eût été de 3000^m sans château d'eau, devenait 20 ou 30^m si, depuis la pompe jusqu'au sommet de la tour, la conduite ascensionnelle n'avait que 20 ou 30^m.

Le château d'eau fait donc disparaître, ou du moins atténue la difficulté qui résulte de l'inertie de la masse d'eau contenue dans la conduite ascensionnelle. Mais c'est là, il faut en convenir, un système bien dispendieux, lorsqu'il s'agit surtout de grandes hauteurs. Qu'on nous permette, à ce sujet, de citer une anecdote assez curieuse, tirée des mémoires de Perrault, de l'Académie française, et qui nous a été révélée par la lecture d'un très-intéressant ouvrage de M. Leroi sur les eaux de Versailles.

« M. Colbert mena un jour M. Huyghens à Versailles pour le lui faire voir. Ce savant admira tout; mais ayant vu une tour fort haute sur la chaussée de l'étang de Clagny, il me demanda à quel effet on avait bâti là cette tour. Je lui dis que c'était pour élever l'eau de l'étang. « Est-ce, reprit-il, qu'on veut faire une fontaine sur cette tour ? — Nullement, lui répondis-je ; c'est pour la faire aller de là dans les réservoirs à toutes les fontaines. —

Digitized by Google

Il n'était point nécessaire, me dit-il, de faire monter l'eau sur cette tour; la pompe l'aurait portée aisément de l'étang dans les réservoirs, sans aucun entrepôt, et la dépense de la tour est assurément très-inutile. » Je compris la chose dans le moment même, et je le dis à M. Colbert, qui en demeura d'accord sans hésiter, en ajoutant : « Que voulez-vous? il faut bien payer son apprentissage. » Mais, ce qui est encore bien plus étonnant, c'est qu'on a fait la même faute à Marly, où l'on a bâti une tour encore plus large et plus haute, et d'une dépense incomparablement plus grande que celle de Versailles, et qui n'est pas moins inutile; car, avec la même force qui élève l'eau d'une hauteur immense sur cette tour, on pouvait la pousser dans des tuyaux de conduite dans les réservoirs de Versailles, sans l'élever ainsi. Je ne me mêlai point du tout de ce travail; et comme M. Colbert en savait autant que moi sur cet article, je ne crus point devoir lui en parler. »

Effectivement, on ne se rend pas immédiatement compte de l'utilité des châteaux d'eau; il est évident, en effet, qu'ils ne rendent aucun service mécanique; mais, en coupant la colonne ascensionnelle, ils facilitent le mouvement des pistons des pompes, et l'uniformité de vitesse de la machine rotative à laquelle elles sont attelées; uniformité de vitesse qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'il y a variation de vitesse dans la conduite ascensionnelle. L'eau, en mouvement dans une conduite d'une grande étendue, forme un volant naturel qui, en imprimant une vitesse uniforme au piston, rend son mouvement incompatible avec la vitesse uniforme de rotation des machines auxquelles il est lié.

Nul doute que Huyghens n'eût aperçu la difficulté s'il avait pris le temps d'y réfléchir. Il est curieux de voir comment le charpentier Rannequin s'en était tiré à la machine de Marly.

Voici la description qu'en a donnée, en 1794, M. de Prony, dans un rapport sur divers projets présentés pour la remplacer.

« La machine de Marly fut entreprise, vers la fin du siècle dernier, « par Rannequin, natif du pays de Liège, homme peu éclairé, mais d'un « génie hardi, d'un tact assez sûr en mécanique, et commença à agir en « 1682.

« L'eau, qui s'élève du lit de la rivière, est portée dans un premier pui- « sard placé sur le penchant de la montagne, à 150 pieds de hauteur et à « 120 toises de distance; là, elle est reprise et élevée dans un second pui-

Digitized by Google

« sard plus élevé de 160 pieds que le premier, ou de 310 pieds que les « eaux moyennes de la rivière, dont il est à une distance de 344 toises. « Enfin, du deuxième puisard l'eau est forcée au haut d'une tour, à une « hauteur de 66 pieds au-dessus de ce deuxième puisard, ou de 476 pieds « au-dessus de la rivière, dont cette tour est à 634 toises de distance.

« Cette tour forme les extrémités d'un aqueduc aussi fastueux qu'inu- « tile, de 330 toises de longueur, porté sur trente-six arcades, et dont « l'autre extrémité est également terminée par une tour ou château d'eau : « on conçoit que les tuyaux de conduite auraient pu descendre immédia- « tement de la première tour, et qu'ainsi l'aqueduc et la deuxième tour « sont entièrement superflus.

« L'eau est élevée, le long de la côte, par le moyen de pompes aspi- « rantes et foulantes, placées tant dans le lit de la rivière qu'à chacun des « puisards établis à mi-côte. Les pistons de ces pompes sont mis en mou- « vement par quatorze roues à aubes de 36 pieds de diamètre, placées sur « autant de coursiers dont chacun est fermé par une vanne. Ces roues « sont établies sur deux rangs parallèles aux vannes; sept forment un « premier rang, le plus près des vannes; six autres composent un second « rang; et enfin la quatorzième se trouve hors des rangs, à l'extrémité « aval de la machine.

« Il y a en tout deux cent vingt-un corps de pompe d'environ 6 pouces « de diamètre, non compris plusieurs pompes qui n'élèvent point l'eau « dans la tour, mais ont des destinations relatives au jeu et à l'effet de la « machine. Soixante-quatre de ces pompes prennent l'eau immédiatement « dans la rivière et la portent au premier puisard, soixante-dix-neuf la « reprennent au premier puisard et l'élèvent au deuxième; enfin elle est « forcée de là au haut de la tour par soixante-dix-huit pompes. »

Un peu plus loin, M. de Prony ajoute :

« Lorsqu'on examine la machine en action, l'inégalité de sa marche est « la première chose qui frappe les yeux; les roues à aubes sont, dans une « partie de leur révolution, presque immobiles : c'est le moment de la « production de l'effet utile; elles acquièrent ensuite une grande vitesse, « parce que l'effort devient petit ou nul, et ainsi de suite. On conçoit aisé- « ment les vibrations et les saccades qui doivent résulter de cette inégalité « et qui tendent à la destruction de la machine. »

Les dispositions adoptées par Rannequin, et qui aujourd'hui paraîtraient

Digitized by Google

bien compliquées, nous semblent justifier l'appréciation que M. de Prony a faite du génie de cet habile ouvrier. Ayant de l'eau à élever à 150^{m}, il ne pouvait évidemment faire un véritable château d'eau; de plus, on n'aurait peut-être pas osé alors soumettre des tuyaux et des corps de pompes à une pression de 150^{m}; il était donc naturel de diviser en plusieurs parties la hauteur à franchir, ce qui réduisait au tiers les pressions et les masses à mettre en mouvement. Cependant, sous ce rapport, les détails nous manquent pour apprécier jusqu'à quel point Rannequin avait pu rendre alternatif le mouvement des seize pompes qui dépendaient de la même roue hydraulique. La théorie demandait que les tiges fussent disposées de manière à ce que la course fût divisée en seize parties; mais la difficulté que Rannequin avait eu à vaincre pour établir les communications de mouvement ne lui avait peut-être pas permis de satisfaire à cette condition, au moins d'une manière complète. De là, dans le mouvement des roues hydrauliques, le temps d'arrêt signalé par M. de Prony. Quoi qu'il en soit, ce que nous voulons surtout faire remarquer, c'est, d'une part, le rôle de la tour placée au sommet de la montagne et faisant château d'eau pour le dernier système de pompes, tour critiquée par Perrault, qui n'en a pas compris l'usage; c'est, d'autre part, l'inutilité du pont-aqueduc à la suite et de la seconde tour, qui a échappé à la critique de Perrault et a été justement blâmée par M. de Prony.

119. Si, malgré Huyghens et Perrault, on avait raison de construire autrefois des châteaux d'eau, les mêmes motifs n'existent plus, depuis l'invention des réservoirs d'air, qui peuvent parfaitement les remplacer. Ces appareils consistent dans une capacité cylindrique interposée entre la pompe à eau, avec laquelle ils sont en communication au moyen de clapets, et la conduite ascensionnelle (fig. 87). Des robinets convenablement placés permettent de vider à l'extérieur l'eau du réservoir et de la remplacer par de l'air. Cet air une fois comprimé sous la pression de la colonne ascensionnelle, l'on fait descendre et l'on maintient le niveau de l'eau à une hauteur convenable dans le réservoir, au moyen d'une petite pompe foulante qui injecte continuellement une quantité d'air égale à celle qui se dissout dans l'eau ou s'échappe à travers les joints du réservoir[1].

[1] On peut aussi faire entrer de l'air dans le réservoir au moyen d'une manœuvre de robinet ayant pour résultat de le mettre en communication avec un récipient inférieur qu'on emplit d'air à volonté; mais il est préférable d'avoir un moyen continu d'injecter de l'air.

Digitized by Google

Il est facile maintenant de se rendre compte du jeu de cet appareil. Pendant que le piston d'eau descend, une partie seulement de l'eau chassée s'échappe par la conduite ascensionnelle, l'autre pénètre dans le réservoir dont elle comprime l'air; pendant que le piston remonte, cet air se détend et pousse dans la conduite ascensionnelle l'eau qui était entrée dans le réservoir. Si l'oscillation de l'eau dans le réservoir d'air a peu d'amplitude; si, de plus, la capacité occupée par l'air est assez grande par rapport à cette amplitude pour que sa tension ne varie pas sensiblement, il est clair que la vitesse de l'eau dans la conduite ascensionnelle sera à peu près constante. Elle sera d'ailleurs à peu près indépendante de celle du piston d'eau qui, n'ayant plus à pousser qu'une masse très-faible, obéira facilement aux variations de vitesse qui lui sont imposées par la marche du moteur. Mettons ces résultats en évidence par le calcul. Conservons les notations précédentes et nommons de plus (fig. 87) :

Ω_r la section du réservoir d'air;

A le volume de l'air dans ce réservoir, au moment où sa force élastique fait équilibre à la pression $(H_r + H_a)$ de la colonne ascensionnelle;

OX une horizontale passant par le sommet du réservoir d'air;

y la distance de l'eau au sommet du réservoir;

$f(y)$ la hauteur d'eau qui correspond à la pression due à la position de l'eau dans le réservoir d'air;

z l'ordonnée de la surface du piston à partir du sommet de la course;

MN une horizontale correspondant au volume A de l'air dans le réservoir et ayant conséquemment pour ordonnée $y_0 = \frac{A}{\Omega_r}$;

$\varepsilon, \varepsilon'$ les hauteurs dont l'eau s'élève ou s'abaisse au-dessus ou au-dessous de la ligne MN;

H_r la charge sur la ligne MN.

Supposons la pompe arrivée à sa marche régulière et la vitesse du piston telle qu'il n'y ait pas discontinuité dans les oscillations de l'eau que contient ce réservoir. Quand ce piston descend, l'eau s'y élève de $a'b'$ à ab; quand il remonte, le mouvement inverse a lieu. L'effet de cette oscillation est facile à concevoir. Pendant la descente du piston d'eau, le travail dû à sa chute $2l\rho\Omega_0(H_a + H)$ n'est pas transmis tout entier à la colonne

Digitized by Google

ascensionnelle, une partie est absorbée par la compression de l'air dans le réservoir et par l'augmentation de la hauteur de l'eau; cette partie est rendue pendant que le piston remonte. Pour un coup de piston complet, on peut donc faire abstraction du travail momentanément absorbé par le réservoir d'air, et on voit que cet appareil ne peut rien changer aux conditions mécaniques de la pompe ordinaire, en ce qui concerne le produit qui doit toujours être proportionnel au travail engendré par la course du piston. Mais si l'on considère les diverses périodes du coup de piston et leur durée, on remarquera de notables différences dans les périodes de la vitesse; le mouvement de la colonne ascensionnelle ayant pour équation :

$$mvdv = \rho\omega\,[f(y) - (H_r + H_a)]\,ds,$$

on voit de suite qu'on a pour la vitesse un maximum et un minimum, toutes les fois que $f(y) = H_r + H_a$, ce qui arrive pour $y = y_0 = \frac{A}{\Omega_r}$, c'est-à-dire toutes les fois que la surface de l'eau du réservoir passe par la ligne MN. En effet, à partir du moment où elle s'élève au-dessus de la ligne MN, $f(y) - (H_r + H_a)$ est positif, et la vitesse croît jusqu'au moment où cette surface en redescendant revient en MN; quand elle passe au-dessous, $f(y) - (H_r + H_a)$ est négatif, la vitesse décroît indéfiniment jusqu'au moment où l'eau en remontant atteint de nouveau la ligne MN. Représentons graphiquement les circonstances de ce mouvement : menons à droite de la ligne OY une parallèle dcd' à une distance proportionnelle à $H_r + H_a$, qui représentera la charge moyenne sur la surface du réservoir d'air, puis des ordonnées proportionnelles à la pression $f(y)$ produite dans le réservoir d'air. Elles détermineront une courbe ece' formant, avec la verticale dcd' et les niveaux supérieurs et inférieurs de l'eau, deux triangles cde, $cd'e'$ exprimant le travail résultant des forces qui agissent sur la colonne ascensionnelle, triangles équivalents, puisque évidemment le réservoir ne peut rendre que le travail qu'il a absorbé.

A la seule inspection de la figure, on reconnaît immédiatement que l'effet du réservoir d'air est de produire, dans l'intensité de la vitesse, des oscillations semblables à celles que nous avons considérées dans le n° 113, et que nous avons représentées par la fig. (82). La seule différence, c'est qu'ici la vitesse ne devient pas nécessairement nulle au commencement

Digitized by Google

et à la fin des oscillations, et que ces dernières se superposent à une quantité constante. Nous allons calculer les variations qu'elles y produisent. En intégrant l'équation du mouvement de l'eau dans la conduite ascensionnelle,

$$mdv = \rho\omega\,[f(y) - (H_r + H_a)]\,dt,$$

à partir du moment où la vitesse de l'eau est un minimum dans la conduite ascensionnelle jusqu'à $\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right)$, nous aurons la différence entre la plus grande et la plus petite vitesse. Or, d'après ce que nous venons de dire tout à l'heure, l'intégrale du second membre est sensiblement donnée par une valeur moyenne de la fonction qui exprime la résistance du réservoir, et on peut écrire, en considérant la période pendant laquelle la vitesse croît, c'est-à-dire où l'eau est au-dessus de la ligne MN,

$$m(V - V_0) = \rho\omega\left\{\left(f(y_0) - \frac{1}{2}\varepsilon\right) - (H_r + H_a)\right\}\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right);$$

en considérant l'autre période, on aurait de même :

$$m(V - V_0) = \rho\omega\left\{(H_r + H_a) - f\left(y_0 + \frac{1}{2}\varepsilon'\right)\right\}\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right).$$

De ces deux équations on déduit :

$$V - V_0 = \frac{\rho\omega}{2m}\left\{f\left(y_0 - \frac{1}{2}\varepsilon\right) - f\left(y_0 + \frac{1}{2}\varepsilon'\right)\right\}\left(\frac{\theta+\theta'}{2}\right).$$

Dans le cas d'un réservoir d'air, on a :

$$f(y) = (H_r + H_a)\frac{y_0}{y} + y_0 - y;$$

et, par conséquent, en mettant pour m sa valeur $\frac{\omega S}{g}$,

$$V - V_0 = \frac{g}{8S}\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{y_0}\right)(H + H_a + y_0)(\theta + \theta')^2.$$

Mais la quantité d'eau reçue dans le réservoir d'air $\Omega_r(\varepsilon + \varepsilon')$ est égale au produit du coup de piston Q diminué de la quantité débitée par la conduite pendant le temps θ. On a donc :

$$\Omega_r(\varepsilon + \varepsilon') = Q - \frac{Q\theta}{(\theta+\theta')} = \frac{Q\theta'}{\theta+\theta'}, \quad \text{et} \quad (\varepsilon + \varepsilon')(\theta + \theta') = \frac{Q\theta'}{\Omega_r};$$

ce qui donne :

[1] On suppose, pour arriver à cette valeur, que ε' ne diffère pas beaucoup de ε, et que ces deux quantités sont très-petites par rapport à y_0.

Digitized by Google

$$V - V_0 = \frac{g}{8}\frac{Q}{A}\frac{(H_r + H_a + y_0)}{S}\theta' = 1,22\frac{Q}{A}\frac{(H_r + H_a + y_0)}{S}\theta'. \quad (52)$$

A l'aide de cette équation et de :

$$\frac{V + V_0}{2} = \frac{Q}{\omega(\theta + \theta')},$$

on peut calculer toutes les circonstances du mouvement de l'eau dans la conduite ascensionnelle.

Supposons, par exemple, le volume du coup de piston moitié de celui de l'air contenu dans le réservoir, la durée de l'ascension du piston $\theta' = 5''$, $H_r + H_a + y_0 = 60^m$ et $S = 1000^m$. Nous aurons :

$$V - V_0 = 1,22 \times \frac{1}{2}\frac{60}{1000} \times 5 = 0^m,153.$$

Si la vitesse moyenne dans la colonne ascensionnelle était de $0^m,40$, on voit que la vitesse varierait entre les deux limites $0^m,31$ et $0^m,49$. Pour une colonne ascensionnelle de 200^m de longueur, on aurait $V - V_0 = 0^m,91$, ce qui indiquerait que la vitesse deviendrait nulle avant la fin du coup de piston. Ce temps d'arrêt amènerait un retour de la colonne ascensionnelle vers le réservoir d'air, de sorte que le piston d'eau au commencement de la course, trouvant l'air comprimé, ne pourrait plus descendre qu'en éprouvant lui-même un temps d'arrêt. Pour prévenir cet inconvénient, il suffira d'augmenter la capacité du réservoir d'air, et les équations précédentes fournissent le moyen de la déterminer, de manière que la vitesse ne soit jamais nulle. En effet, en écrivant que la différence entre les vitesses extrêmes est égale au double de la vitesse moyenne, on aura la plus petite valeur de A qui remplit cette condition, c'est-à-dire :

$$A = 1,22\frac{Q}{V + V_0}\frac{(H_r + H_a + y_0)}{S}\theta.$$

Ainsi, dans le dernier exemple numérique que nous considérions tout à l'heure, on aurait $A = 2,29\,Q$; c'est la plus petite valeur qu'on pourrait donner à A pour avoir une marche régulière de la machine, et il va sans dire que dans la pratique elle devrait être considérablement augmentée.

La valeur de $V - V_0$ peut se mettre sous la forme :

$$V - V_0 = \frac{g}{8}\frac{Q}{S\Omega_r}\left(\frac{H_r + H_a}{y_0} + 1\right)\theta'.$$

On voit que le facteur binôme du second membre se compose de deux parties : la première, relative à la détente de l'air dans le réservoir, est

Digitized by Google

en général beaucoup plus considérable que la seconde, qui se rapporte aux variations du niveau de l'eau dans cet appareil. Les réservoirs d'air, ordinairement placés près des machines, n'ont que quelques mètres de hauteur; ainsi, pour de l'eau élevée à 50^m et un réservoir d'air de 6^m de hauteur, la quantité $\frac{H_1+H_2}{y_0}$ serait dix fois plus considérable que le chiffre qui exprime la différence due à la variation de niveau. Cependant, on remplace quelquefois en Angleterre le réservoir d'air par une colonne verticale débouchant à l'air libre; la formule précédente se réduit alors à :

$$V-V_0=\frac{g}{8S}\frac{\Omega}{\Omega_r}\theta'.$$

Cette colonne n'est autre chose qu'un château d'eau, moins la cuvette et le tuyau descendant. En augmentant convenablement la section Ω_r de la partie supérieure dans laquelle se produit l'oscillation, on peut rendre sensiblement nulle la différence des vitesses.

En résumé, pour ce qui concerne la vitesse de l'eau dans la colonne ascensionnelle, le château d'eau la rend uniforme (on suppose la surface de la cuvette très-grande par rapport à la conduite de distribution); la colonne donne une variation de vitesse très-légère, et d'autant plus petite que sa section est plus considérable; le réservoir d'air donne une variation de vitesse qui diminue avec sa capacité suivant la formule (52).

Mais le rôle essentiel du réservoir d'air est beaucoup moins de rendre la vitesse uniforme dans la conduite ascensionnelle que de réduire, dans une très-grande proportion, la masse que le piston d'eau doit mettre en mouvement, et de lui permettre de prendre la vitesse qui convient aux organes de la machine sans provoquer un surcroît de résistance.

Considérons maintenant la marche d'une pompe munie d'un réservoir d'air; supposons que la pression du piston d'eau dans sa position moyenne fasse précisément équilibre à la pression moyenne du réservoir d'air, pression qui fait elle-même équilibre à celle de la colonne ascensionnelle. Lorsque la pompe a atteint son mouvement régulier, et que le piston est au haut de sa course, il n'y a plus équilibre, 1° parce que, le piston étant plus élevé, la force motrice a augmenté de $\rho\Omega_0 l$, et que la force retardatrice du réservoir d'air qui, dans la position d'équilibre était $\rho\Omega_0 f(y_0)$, est devenue $\rho\Omega_0 f(y_0+\varepsilon')$; à mesure que le piston descend, la force motrice diminue, mais la vitesse augmente jusqu'au moment où il franchit la position d'é-

Digitized by Google

quilibre; alors la force retardatrice prend le dessus et diminue la vitesse, qui devient nulle à l'extrémité de la course. Le mouvement suit une loi analogue à celle des oscillations d'un pendule qu'on a écarté de la verticale.

Les circonstances de ce mouvement sont, comme on le voit, complétement semblables à celles du n° 113, et peuvent se représenter graphiquement et se calculer de la même manière. Sur la verticale AM'A' (fig. 87 *bis*, *piston d'eau*), égale à la course $2l$ du piston, portons des ordonnées proportionnelles à la force accélératrice qui en chaque point agit sur la masse en mouvement, nous formerons une courbe $Crr'D$ s'éloignant fort peu de la droite CD. Pour avoir la loi de ce mouvement, il suffit donc de calculer l'excès de la puissance sur la résistance au commencement et à la fin de la course. En prenant, par approximation, pour AC une moyenne entre ces deux quantités, il viendra, comme pour le réservoir d'air :

$$AC = \rho\Omega_0 \left\{ l + (H_r + H_a + y_0) \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{2y_0} \right\};$$

telle est la plus grande surcharge du piston. Si nous supposons que la pression constante du piston soit $\rho\Omega_0 h$, que sa masse soit $M = \frac{\rho\Omega_0 S_0}{g}$; si de plus nous posons :

$$\zeta_0 = l + (H_r + H_a + y_0) \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{2y_0},$$

nous aurons pour l'équation du mouvement de ce piston abandonné à lui-même :

$$udu = g \frac{\zeta_0}{S_0} \left(1 - \frac{z}{l}\right) dz;$$

et nous en déduirons, comme au n° 113 :

$$\left.\begin{aligned} u &= \sqrt{2g \frac{\zeta_0}{S_0} z \left(1 - \frac{z}{2l}\right)}, \quad t = \sqrt{\frac{S_0 l}{g\zeta_0}} \operatorname{arc\,cos} \left(1 - \frac{z}{l}\right), \\ U &= \sqrt{g \frac{\zeta_0}{S_0} l}, \quad U_m = \frac{2}{\pi} U, \quad \theta = \pi \sqrt{\frac{S_0 l}{g\zeta_0}} = \sqrt{\frac{S_0 l}{\zeta_0}}. \end{aligned}\right\} \quad (53)$$

Ces équations démontrent que l'interposition du réservoir d'air entre la colonne ascensionnelle et le piston fait complétement disparaître l'obstacle au mouvement de ce dernier, et que son changement de position et les oscillations du réservoir d'air amènent dans la force motrice une variation suffisante pour obtenir une assez grande vitesse.

Si, dans l'expression de ζ_0, nous mettons pour $\varepsilon + \varepsilon'$ sa valeur :

$$\frac{\varepsilon + \varepsilon'}{2y_0} = \frac{Q}{2A} \frac{\theta'}{\theta + \theta'} = \frac{\Omega_0 l \theta'}{A(\theta + \theta')};$$

Digitized by Google

et si nous nommons b un rapport qui ne dépend que de la surface du piston, de la capacité et de la position du réservoir d'air, nous aurons :

$$\zeta_0 = l\left(1 + (H_r + H_a + y_0)\frac{\Omega_0\theta'}{2A(\theta+\theta')}\right) = bl,$$

et par conséquent $$\theta = \sqrt{\frac{S_0}{b}};$$

équation qui fait voir que la durée de la chute spontanée du piston ne dépend pas de la longueur de la course.

Supposons

$$H_r + H_a = 60^m, \quad y_0 = 4, \quad A = y_0\Omega_r = 4^{m^2}, \quad \Omega_0 = 0^{m^2},80, \quad \frac{\theta'}{\theta+\theta'} = \frac{2}{3},$$

on aura : $$b = \frac{13}{3}, \quad \theta = \sqrt{\frac{3}{13}S_0} = 0,53\sqrt{S_0}.$$

Si le piston était chassé par de la vapeur, la longueur S_0 de la masse en mouvement pourrait être peu considérable, la vitesse serait alors très-rapide ; si, comme dans les machines de Cornwall, que nous allons examiner tout à l'heure, le piston devait retomber par l'effet de son poids, on aurait $S_0 > H_r$, soit 65^m dans l'exemple que nous venons de choisir, et la chute aurait lieu en $3'',85$. Plus le réservoir est petit, par rapport au volume du coup de piston, plus la durée de sa chute est courte. On pourrait l'accélérer en diminuant la capacité du réservoir d'air ; mais dans ce cas les variations de vitesse dans la colonne ascensionnelle deviendraient trop considérables ; on a recours alors à un excès de poids placé du côté du piston d'eau. De sorte que la surcharge à l'origine, au lieu d'être AC, est AC′ (fig. 87 *bis*), et la ligne qui représente le travail est C′pD′, au lieu de CM′D. On reconnaît, sur la figure, que le piston arriverait à fin de course avec une vitesse $\sqrt{\frac{4pl}{m}}$, due à la chute de cette surcharge p, et éprouverait un choc violent, si l'on n'avait recours à quelque expédient pour l'arrêter. Cet expédient consiste à laisser, à partir d'un certain moment, de la vapeur se comprimer au-dessus du piston de vapeur, ce qui produit une résistance représentée par p'D″, de manière que le triangle mixtiligne A′pp'D″ soit égal au triangle AC′p. D'après ce que nous avons établi plus haut (page 170), la longueur Ap sera parcourue dans le même temps que l'était AM′, et la longueur pA′ le sera beaucoup plus rapidement, parce que l'angle D″pA′ est beaucoup plus ouvert que l'angle DM′A′. On peut donc diminuer à volonté le temps de

Digitized by Google

la chute du piston d'eau, au moyen d'un excès de charge. On est obligé même d'avoir recours à ce système, lorsque le réservoir d'air est remplacé par une colonne d'eau ou par un château d'eau, car on a alors :

$$\theta = \sqrt{\frac{S_0 l}{l + \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{2}}} \quad \text{ou } \theta = \sqrt{S_0};$$

et comme la quantité S_0 est plus grande que la hauteur à franchir, la valeur de θ deviendrait considérable. Ainsi, pour un château d'eau de 50^m de hauteur, on aurait $\theta = 7''$.

Ces calculs supposent que le piston est abandonné à lui-même, ou plutôt à la pression $\rho \Omega_0 h$. S'il était mis en mouvement par une machine rotative, les variations dans la vitesse verticale feraient naître, en certains moments, des excès de pression faciles à calculer par la formule (51). Mais ici la masse en mouvement, au lieu d'être la colonne ascensionnelle $\frac{\rho \omega S}{g}$, n'est plus que celle de la petite quantité d'eau qui se trouve entre le réservoir d'air et le piston, augmentée de la masse de toutes les parties de la machine qui sont entraînées dans le même mouvement. Or, ces masses sont trop faibles pour que leur inertie ait une influence sensible sur la surcharge.

Le réservoir d'air peut donc, dans les machines destinées à élever l'eau, remplacer le château d'eau ; comme lui, il rend uniformes la vitesse dans les conduites et la résistance qu'oppose la masse de l'eau au mouvement régulier des pompes. Cependant nous devons faire observer que, lorsque la conduite ascensionnelle branchée sur le réservoir d'air fait un service en route susceptible de varier, les variations qui en résultent peuvent déterminer ou une accélération, ou des retards, ou des arrêts dans la machine qui fait marcher les pompes. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'élever de l'eau à 50^m, et que le diamètre et la longueur de la conduite soient tels que la perte de charge soit de 12^m quand toute l'eau est envoyée à l'extrémité. Il est clair que la pression moyenne du réservoir d'air pourra varier entre 50 et 62^m, par l'effet des prises d'eau en route. Or, si cette variation avait lieu brusquement, il pourrait en résulter de graves inconvénients pour certaines machines ; mais il est évident qu'on ne peut redouter l'ouverture simultanée de tous les robinets, et qu'il suffira dans la pratique de pouvoir, au moyen d'un régulateur, parer à une variation de charge de quelques mètres. Il n'y a guère de machine qui ne soit exposée à éprouver des variations de résistance, par suite du travail plus ou

Digitized by Google

moins considérable qui lui est demandé, et pour laquelle on n'ait besoin de régulariser le moteur ou la résistance. Cependant nous devons faire observer que le château d'eau a pour résultat de régulariser complétement la résistance à vaincre par la machine. Lorsqu'il n'y a pas de réservoir d'air, il y a bien avec le château d'eau une variation de résistance, mais cette variation est régulière et périodique, et ne peut par conséquent amener aucun accident imprévu. Avec un réservoir d'air et un château d'eau, le machiniste se trouve dans une sécurité complète; mais cette sécurité s'achète, du reste, non-seulement par la dépense du château d'eau, mais par l'obligation d'élever toujours l'eau à son maximum de hauteur. On ne profite ni de la diminution de charge due au débit en route, ni de la hauteur des réservoirs.

La dépense des châteaux d'eau dépend à un très-haut degré des circonstances locales; si l'eau ne doit être élevée qu'à une très-faible hauteur, ou si la conduite ascensionnelle, dans son tracé naturel, s'élève immédiatement à une hauteur voisine de celle qui exprime la charge, il est évident qu'alors la dépense du château d'eau peut se réduire à celle de quelques mètres de tuyau, et que l'ingénieur peut alors avoir recours à ce système avec de justes motifs, surtout si la conduite ascensionnelle doit faire en route un service dont l'importance peut varier brusquement.

Quant à la dépense du réservoir d'air, elle est toujours si faible par rapport aux avantages qu'on en retire, que cet appareil doit être considéré comme une annexe indispensable de toute machine destinée à élever de l'eau à l'aide d'un mouvement de va-et-vient. Les formules précédentes pourront servir à en calculer la capacité, il va sans dire qu'elles devront être modifiées d'après les données de la question, d'après le nombre des pompes et leurs liaisons.

Il ne peut entrer dans le plan de cet ouvrage de décrire les machines très-variées qui peuvent être employées pour faire marcher les pompes d'une distribution d'eau. L'étude de ces machines fait l'objet de traités spéciaux auxquels nous devons nécessairement renvoyer. Nous croyons cependant, pour le cas où l'on serait obligé d'avoir recours à des machines à vapeur, devoir signaler les avantages que présentent les machines de Cornwall.

120. Disons d'abord que pour toute espèce de machines, le système de pompes qui paraît le mieux convenir, est celui dit à piston plongeur. Il se

Digitized by Google

compose d'un piston cylindrique s'engageant dans le corps de pompe à travers une garniture enveloppant sa circonférence. Le corps de pompe qui contient l'eau peut être beaucoup plus large et avoir une forme quelconque. Voici quels sont les avantages de ce système : comme il est plus facile d'aléser un corps convexe qu'un corps concave, on obtient un contact plus parfait du piston plongeur avec la garniture, que du piston ordinaire avec le corps de pompe. Toute fuite autour du piston se reconnaît immédiatement et peut se réparer de suite ; tandis qu'avec le piston ordinaire, la fuite ne se révélant pas à l'extérieur, on est exposé à marcher souvent dans de mauvaises conditions ; enfin la réparation est beaucoup plus difficile. En changeant de piston et de garniture, on peut augmenter ou diminuer le produit de la pompe. Les pompes à piston plongeur sont nécessairement à simple effet ; elles ne peuvent, comme les autres, aspirer d'un côté et refouler de l'autre.

121. Les machines à vapeur du système de Cornwall se composent essentiellement d'un cylindre à vapeur et d'un corps de pompe, ainsi que le représente la planche 9, dans laquelle nous reproduisons une des machines de Chaillot. La vapeur, en arrivant de la chaudière sur le piston, détermine sa descente, agit sur lui avec toute sa pression, pendant une partie de la course, le dixième, le tiers ou le quart..., suivant que l'on veut plus ou moins détendre ; puis, à partir du moment où l'on ferme la soupape d'admission, elle se détend jusqu'à la fin de la course. Le travail de la vapeur consiste à vaincre tous les frottements, à soulever le piston d'eau muni d'un contre-poids considérable et l'eau aspirée. Le piston de vapeur, arrivé au bas de sa course, ferme la soupape du condenseur ; il y a alors un temps d'arrêt. En effet, le piston d'eau, qui n'a que le poids nécessaire pour chasser la colonne, se trouve retenu par la pression finale de la vapeur sur le piston. Celui-ci ne commence à remonter qu'au moment où l'on ouvre une soupape, dite d'équilibre, qui met en communication la partie supérieure du corps de pompe avec la partie inférieure, de sorte que le piston de vapeur peut se mouvoir comme dans le vide ; alors le contre-poids entraîne le piston d'eau et refoule l'eau dans le réservoir d'air. Le piston de vapeur, arrivé au haut de sa course, ferme la soupape d'équilibre ; il y a alors un nouveau temps d'arrêt qui se prolonge jusqu'au moment où l'on ouvre de nouveau la soupape d'admission et celle du condenseur, et un nouveau coup recommence.

Digitized by Google

Ce qui distingue cette machine de toutes les autres, c'est que tous les mouvements y sont alternatifs; qu'il n'y a ni manivelles, ni engrenages, ni excentriques; que rien ne vient contrarier les vitesses imprimées par la pression ou la détente de la vapeur, ou par le contre-poids du piston d'eau; que chaque demi-coup de piston est séparé par un temps d'arrêt de celui qui doit suivre, ce qui permet de consacrer un certain temps à l'ouverture et à la fermeture des soupapes. Dans l'étude théorique des pompes, on suppose en effet que la fermeture et l'ouverture des soupapes est instantanée, mais on doit comprendre que dans la réalité il n'en est pas ainsi. Si on refoule immédiatement après avoir aspiré, et que la soupape d'aspiration mette une seconde à se fermer, pendant cette seconde, qui peut être le quart ou le tiers du temps de la descente, l'eau aspirée redescend dans le tuyau d'aspiration au lieu de passer par la soupape de refoulement. Si, après avoir refoulé, on aspire immédiatement, pendant tout le temps que la soupape de refoulement mettra à se fermer, l'eau refoulée redescendra sous le piston. On cherche donc, dans la machine de Cornwall, à se donner des temps d'arrêt entre les périodes d'oscillation. Aussi les diverses soupapes qui déterminent les départs des pistons s'ouvrent-elles indépendamment du mouvement du piston de vapeur, au moyen de l'élévation et de l'abaissement des tiges de petites pompes appelées cataractes, dont le principe est facile à concevoir. Le balancier de la machine, au moyen d'un levier qu'il entraîne avec lui, soulève d'une certaine quantité la tige d'une de ces pompes, l'eau ainsi aspirée s'écoule par un orifice dans la bache où elle a été puisée, et la tige du piston, abandonnée à elle-même, descend plus ou moins vite, suivant que l'orifice est plus ou moins ouvert; arrivée à un certain point, elle décroche un loquet qui ouvre une soupape. Cette soupape se ferme ensuite au moyen d'un tasseau fixé le long d'une poutrelle qui se meut parallèlement au piston de vapeur. Nous donnons, dans la planche 10, le détail du mécanisme à l'aide duquel se produisent cette ouverture et cette fermeture, et, à la fin de ce chapitre, une légende qui en explique les mouvements: ce que nous voulons seulement faire comprendre ici, c'est qu'elles ont lieu au bout d'un temps qu'on peut allonger ou abréger en étranglant plus ou moins un orifice. La machine de Cornwall marche donc à la main pour ainsi dire, et c'est même ainsi qu'on la met en train; le mécanicien, en réglant les robinets des cataractes, en montant ou descendant les taquets le long de la poutrelle, fixe les épo-

Digitized by Google

ques d'ouverture et de fermeture des diverses soupapes nécessaires au jeu de la machine.

C'est à l'ensemble des dispositions que nous venons de décrire que les machines de Cornwall doivent, jusqu'à présent, leur supériorité sur les machines rotatives, dans lesquelles tous les organes se meuvent à des intervalles qui dépendent du système de construction, et que celui qui conduit la machine ne peut plus changer. Mais l'avantage de brûler deux ou trois fois moins de charbon s'achète par la difficulté de la conduite de ces machines. Si l'on admet trop de vapeur sur le piston, il arrive à fin de course avec vitesse et frapperait le fond du cylindre, si le balancier ne portait pas un arrêt qui vient buter sur un tampon à ressort; le piston d'eau en fait autant, s'il est trop chargé ou si la pression diminue dans le réservoir d'air; si la soupape d'équilibre est trop tôt ouverte, ce piston, en retombant avant la fermeture de la soupape d'aspiration, peut occasionner un choc violent de celle-ci sur son siége, etc. La conduite de ces machines demande donc une surveillance plus continue et plus intelligente que celle des machines rotatives. Quant aux calculs de leur établissement, ils reposent sur des formules semblables à celles que nous avons présentées dans le cours de ce chapitre, et sur les formules connues des machines à vapeur à détente.

122. Représentons géométriquement, comme nous l'avons fait pour le piston d'eau, les circonstances du mouvement du piston de vapeur (fig. 86 *ter, piston de vapeur*); à partir d'un axe vertical OZ, portons des ordonnées proportionnelles à la résistance que le piston éprouve en chaque point; si l'on négligeait les frottements de la machine, ces résistances seraient au commencement de la course $\rho\Omega_0(Z-l)$, et à la fin $\rho\Omega_0(Z+l)$, mais eu égard aux divers frottements, la hauteur totale Z est augmentée dans le rapport de $\frac{1}{k}$ (k étant une fraction). Portons donc :

OC proportionnel à $\rho\Omega_0\left(\frac{Z}{k}-l\right)$,

ZD proportionnel à $\rho\Omega_0\left(\frac{Z}{k}+l\right)$;

l'oblique CD représentera l'effort à faire à chaque instant pour soulever le piston d'eau. Si l'on ne tenait pas compte de son déplacement dans le sens vertical, cet effort serait représenté par la verticale EH menée à une distance $\frac{\rho\Omega_0 Z}{k}$ de la droite OZ. Pendant l'admission de la vapeur, la pression

Digitized by Google

sur le piston est représentée par la verticale FG, et pendant la détente par l'arc d'hyperbole G*m*I. Pour la marche uniforme de la machine, il faut que le piston arrive au bas de sa course avec une vitesse nulle, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que la surface curviligne OFG*m*IZ = trapèze OCDZ = rectangle OEHZ.

Soient : Ω_v la surface du piston de vapeur ;

$\frac{\rho\Omega_0 S'}{g}$ la masse qui se meut avec le piston de vapeur ;

H_v la hauteur en eau qui mesure la pression initiale de la vapeur, quantité proportionnelle à OF ;

$2nl$ la longueur de course pendant laquelle la vapeur est admise, quantité proportionnelle à FG ;

z' la longueur de course pendant laquelle la vitesse croît ;

l' la longueur de la course pendant laquelle la vitesse décroît ;

$x = \frac{2nlH_v}{z}$ la hauteur en eau qui exprime, pendant la détente, la tension de la vapeur correspondant à la position z du piston ;

ρ' la densité de la vapeur supposée proportionnelle à la tension pour une chaudière donnée, c'est-à-dire en négligeant l'effet des variations de température ;

on obtient, en égalant le travail de la vapeur à celui du piston d'eau :

$$2l\frac{\rho\Omega_0 Z}{k} = 2nl\rho\Omega_v H_v + \int_{2nl}^{2l} \frac{2nlH_v\rho\Omega_v}{z}\,dz;$$

d'où l'on tire l'expression de la tension initiale de la vapeur :

$$H_v = \frac{\Omega_0}{\Omega_v}\frac{Z}{k}\left(\frac{1}{n(1-\log n)}\right).$$

Le poids p_v de vapeur consommée par chaque coup de piston étant égal à $2\Omega_v nl\rho' H_v$, on a :

$$p_v = 2l\rho'\Omega_0\frac{Z}{k}\left(\frac{1}{1-\log n}\right).$$

La hauteur z' du point m, où a lieu le maximum de vitesse, sera donnée par la rencontre de la droite CD avec l'hyperbole, ou, comme approximation, par celle de la verticale EH ; on a donc :

$$\frac{2nl\rho\Omega_v H'}{z'} = \frac{\rho\Omega_0 Z}{k},$$

par conséquent : $$z' = 2l\left(\frac{1}{1-\log n}\right);$$

Digitized by Google

et pour la partie de la course pendant laquelle la vitesse diminue :

$$l' = 2l - z' = \frac{-2l \log n}{1 - \log n}.$$

On aurait facilement et rigoureusement la vitesse maximum en calculant une des surfaces CFGm ou ImD ; mais il est plus simple de considérer cette dernière comme un triangle ayant ID pour base et l' pour hauteur, ce qui nous ramène aux formules des mouvements oscillatoires considérés plus haut.

Appelons $\rho\Omega_0\zeta'$ la résultante proportionnelle à $\mathrm{ID} = \rho\Omega_0\left(\frac{Z}{k} + l\right) - \rho\Omega_v n \mathrm{H}_v$, nous aurons, en mettant la valeur de H_v :

$$\zeta' = l - \frac{Z}{k}\frac{\log n}{1 - \log n} = l + \frac{Z}{k}\frac{l'}{2l}.$$

Quand la détente est longue, l' est au moins égal à l, $\frac{Z}{k}$ est plus grand que Z, qui lui-même est beaucoup plus grand que l; d'où il suit qu'on peut alors négliger la demi-course l du piston par rapport au second terme, et prendre

$$\zeta = \frac{-Z}{k}\frac{\log n}{1 - \log n}.$$

On a d'ailleurs évidemment pour le mouvement du piston de vapeur des équations analogues à celles du n° 113, et comme pour le piston d'eau (voir les équations 52) :

$$u = \sqrt{2g\frac{\zeta'}{S'}z\left(1 - \frac{z}{2l'}\right)},$$

en comptant les ordonnées z à partir de l'extrémité de la course.

Si, à droite de la ligne OZ, nous menons des ordonnées proportionnelles aux vitesses, nous formerons la partie inférieure de la courbe Ztm', qui se prolongerait, en suivant la même loi, jusqu'au point p qui correspond à la fermeture de la soupape d'admission ; mais la partie supérieure Op serait une portion de parabole, puisque, pendant le temps qui correspond à cette période, la force accélératrice est constante. La plus grande vitesse U, et la vitesse moyenne correspondant à la partie inférieure de la courbe U_m, seraient données par les équations :

$$\mathrm{U} = \sqrt{g\frac{\zeta'}{S'}l'} = \frac{-\log n}{1 - \log n}\sqrt{\frac{2glZ}{S'k}}, \quad \mathrm{U}_m = -\frac{2}{\pi}\frac{\log n}{1 - \log n}\sqrt{\frac{2glZ}{S'k}}.$$

En jetant les yeux sur la figure 86, on voit que la vitesse moyenne qui a

Digitized by Google

lieu dans la partie supérieure de la course est un peu moindre; mais, comme la valeur précédente est elle-même trop petite, puisque nous avons substitué une ligne droite à l'arc mI, il s'ensuit que nous pourrons prendre la valeur ci-dessus de U_m pour toute la course, et qu'alors la durée de la descente du piston de vapeur sera donnée par l'équation :

$$t' = \frac{2l}{U_m} = \frac{\pi}{\sqrt{2g}} \frac{(1-\log n)}{-\log n} \sqrt{\frac{kS'l}{Z}} = 0{,}71 \frac{1-\log n}{-\log n} \sqrt{\frac{kS'l}{Z}}.$$

Il résulte des équations précédentes que si, dans une machine, on fait varier la détente pour obtenir un effet donné :

La quantité de vapeur consommée, la longueur de la course pendant laquelle la vitesse augmente, et la tension finale, sont proportionnelles à. . . . . $\frac{1}{1-\log n}$.

La tension initiale H_v de la vapeur, à. . . . . $\frac{1}{n(1-\log n)}$.

Les vitesses maximum et moyennes et la longueur de la course pendant laquelle la vitesse diminue, à. . . . . $\frac{-\log n}{1-\log n}$.

La durée de la course, à. . . . . $\frac{1-\log n}{-\log n}$.

On peut donc, en donnant à n diverses valeurs, former le tableau suivant des rapports qui existent entre ces quantités :

n — LONGUEUR de L'ADMISSION.	$\frac{1}{1-\log n}$ — QUANTITÉ de VAPEUR CONSOMMÉE. — z' longueur de la course pendant laquelle la vitesse augmente. — Tension finale.	$\frac{1}{n(1-\log n)}$ — H_v TENSION INITIALE.	$\frac{-\log n}{1-\log n}$ — VITESSES MAXIMUM. — VITESSE MOYENNE. — Longueur de la course pendant laquelle la vitesse diminue.	$\frac{1-\log n}{-\log n}$ — DURÉE de la COURSE DU PISTON.
1	2	3	4	5
1,00	1,00	1,000		
0,90	0,90	1,005	0,10	10,00
0,80	0,82	1,022	0,18	5,55
0,70	0,74	1,05	0,26	3,85
0,60	0,66	1,10	0,33	3,00
0,50	0,59	1,18	0,41	2,44
0,40	0,52	1,30	0,48	2,08
0,30	0,46	1,52	0,54	1,85
0,25	0,42	1,68	0,58	1,73
0,20	0,38	1,92	0,62	1,61
0,15	0,345	2,30	0,655	1,53
0,10	0,30	3,03	0,70	1,43

Digitized by Google

Les trois premières colonnes de ce tableau appartiennent à toute machine à vapeur à détente, et font voir l'économie qui résulte d'une détente plus ou moins prolongée. Si, sans détente, on consomme 1, en détendant à moitié, on consommera 0,59, au dixième, 0,30... Mais, pour jouir de cet avantage, il faut augmenter dans une grande proportion la pression initiale, soit en élevant la température de la vapeur, soit en augmentant le diamètre du piston de vapeur. Ajoutons que ces calculs supposent que le rendement des machines ne varie pas avec la détente. Or, il n'en est pas ainsi; plus la pression est grande sur le piston, plus les fuites de vapeur sont considérables; de sorte que l'avantage de la détente a, dans la pratique, une limite que le calcul ne peut indiquer, puisqu'elle dépend de l'habileté du constructeur. Nous ne pouvons, du reste, nous étendre davantage sur les propriétés des machines à vapeur en général : le but principal de ce tableau est de faire voir l'influence de la détente sur la vitesse du piston de vapeur pour les machines du système de Cornwall. On remarquera que le coefficient de la vitesse est, pour ainsi dire, le complément de celui de la consommation de vapeur, de sorte que la vitesse augmente avec la détente et avec l'économie obtenue. Supposons une pompe pour laquelle $l=1$, $\frac{Z}{k}=S'$ (le poids du piston d'eau devant être capable de refouler l'eau au réservoir supérieur, cette égalité subsiste à peu près dans toutes les machines de Cornwall), on aura :

	$t'=0{,}71\,\frac{1-\log n}{-\log n}$,	$U_m=\frac{2}{t'}$,	$U=\frac{3{,}14}{t'}$,
Pour $n=0{,}50$,	$t'=1'',73$,	$U_m=1^m,15$,	$U=1^m,81$.
$n=0{,}25$,	$t'=1'',23$,	$U_m=1^m,63$,	$U=2^m,55$.
$n=0{,}10$,	$t'=1'',02$,	$U_m=1^m,96$,	$U=3^m,01$.

Si la course du piston était plus grande ou plus petite, les vitesses et les durées de la chute augmenteraient dans le rapport des racines carrées des longueurs. Ainsi, pour la machine de Chaillot, dont la course est de $2^m,50$, il faudrait multiplier les chiffres précédents par $1^m,12$.

Nous ne présentons pas les formules précédentes comme pouvant donner des résultats exactement conformes à l'expérience, il y a trop de choses inconnues dans la marche des machines pour qu'il puisse en être ainsi. On comprend, en effet, que pour déterminer rigoureusement la vitesse, il faudrait connaître à chaque instant la puissance et la résistance; or, l'ou-

Digitized by Google

verture des diverses soupapes ne peut se faire instantanément; entre le dessus du piston de vapeur et la soupape d'admission, il y a un espace nuisible; les fuites de vapeur ne sont pas constantes dans toute l'étendue de la course. Le coefficient k, que nous avons supposé constant, varie, et ses variations ont nécessairement une influence sur la vitesse. Les exemples numériques que nous venons de donner ont donc pour but moins d'indiquer une mesure exacte de la vitesse, que de faire apprécier dans quel sens elle se trouve modifiée par la longueur de la détente, par les dimensions de la machine, et que de signaler les difficultés que peut présenter sa conduite. Ainsi, on voit qu'en augmentant la détente on fait croître la vitesse du piston de vapeur, qui prend des proportions tellement effrayantes que les conducteurs de ces machines n'osent pas toujours mettre à profit ce moyen de tirer parti du moteur. Les masses en mouvement sont en effet énormes; pour une hauteur de 50^m, et un piston de $0^m,86$ de surface, comme celui des machines de Chaillot, en supposant que les divers frottements s'élèvent à 10^m, le contre-poids du piston d'eau devra être de $0,86 \times 60000^k = 51,600^k$. Si l'on ajoute à ce poids celui du balancier 22000^k, le double de celui du piston de vapeur, on voit que la masse en mouvement ne peut être moindre que 75000^k pour cette machine. Or, avec la détente d'un dixième, et une course de $1^m,50$, on aurait une vitesse maximum de $3^m,30$ qui aurait lieu à $0,30 \times 2,50 = 0^m,75$ du sommet de la course, c'est-à-dire au bout d'un tiers de seconde, puisque la vitesse moyenne serait de $2^m,35$, la chute du piston ayant d'ailleurs lieu en $1'',14$. Pour diminuer cette vitesse, en conservant la détente, il n'y a d'autre moyen que d'augmenter la masse en mouvement, car, comme nous l'avons vu, la vitesse est proportionnnelle à $\sqrt{\frac{1}{S'}}$; mais, si l'on réfléchit que $S' = \frac{75}{0,86} = 87^m,2$, que, pour diminuer la vitesse de moitié, on serait obligé de quadrupler cette quantité, c'est-à-dire d'ajouter un poids de $225,000^k$, on sera bien vite convaincu des difficultés que présente l'emploi de cet expédient. Il va sans dire, en effet, que cette addition de masse doit se faire par parties égales des deux côtés du balancier. Ainsi, dans les machines de Chaillot il a fallu, du côté du piston de vapeur, percer le fond du cylindre, afin de trouver un emplacement convenable pour loger les poids additionnels. Enfin, on doit comprendre quel surcroît de dépense exigent de pareilles masses, tant par leur prix que par la force qu'on est obligé de donner aux pièces qui les supportent.

Digitized by Google

La vitesse n'est pas la seule difficulté qui résulte d'une détente prolongée. On doit remarquer, en effet, que la pression finale sur le piston de vapeur décroît rapidement quand la détente augmente. Ainsi, pour une pression moyenne de 100, la pression finale est 59 avec une détente à moitié, 30 avec une détente des 9/10; de sorte que, lorsque le piston de vapeur est au bas de sa course, le piston d'eau tend à redescendre avec une force de 41 dans le premier cas et de 70 dans le second; car, la soupape de refoulement ne s'ouvrant que quand celle d'aspiration est fermée, le défaut d'équilibre des deux pistons détermine une pression considérable sur cette soupape, qui se ferme violemment et pourrait se briser si l'on n'avait pas pris, dans son système de construction, des précautions spéciales contre cet accident. Un effet analogue se produit, au reste, quand le piston d'eau est au bas de sa course. L'air contenu dans le réservoir, comprimé au delà de la pression qui résulte du poids du piston d'eau, fait rebondir le piston et réagit fortement sur les clapets de refoulement. Mais, de ce côté, quand la vitesse du piston d'eau est suffisante, le remède se trouve dans la capacité du réservoir d'air, qu'il est toujours facile d'augmenter, tandis que, du côté du piston de vapeur, la machine ne présente d'autre moyen de modérer la vitesse que l'augmentation de la masse. Or, cette augmentation, outre les inconvénients matériels d'exécution que nous avons énumérés plus haut, en amène un autre, en augmentant outre mesure la durée de la descente du piston d'eau, qui, elle aussi, est proportionnelle à la racine carrée de la masse. On se trouve ainsi placé entre deux inconvénients tels, qu'il faut augmenter l'un pour diminuer l'autre. La durée de la descente du piston d'eau n'est pas, il est vrai, une cause de perte de travail mécanique, il ne peut en résulter ni accident ni plus grande consommation de charbon; mais, au point de vue pratique, ce n'en est pas moins un inconvénient assez grave. Car le problème à résoudre n'est pas d'obtenir une quantité d'eau quelconque avec une consommation minimum de charbon, mais une quantité d'eau déterminée. Or, une machine qui ne peut donner par minute que 6 coups au lieu de 8, parce que le piston d'eau descend trop lentement, peut compromettre le service, et on comprend qu'on se résigne à brûler proportionnellement plus de charbon pour obtenir toute l'eau dont on a besoin. On a alors, comme nous l'avons exposé plus haut, recours à l'expédient d'un poids additionnel du côté du piston d'eau. Mais, dans ce système, le piston de

Digitized by Google

vapeur, s'arrêtant par l'effet de la compression d'une certaine quantité de vapeur, tend à rebondir, absolument comme si l'on avait diminué la capacité du réservoir d'air. Ainsi, de quelque manière qu'on s'y prenne, à la fin de chaque course les pistons ne se trouvent pas en équilibre, et la force qui tend à les faire revenir en sens inverse est d'autant plus considérable pour le piston d'eau, qu'on veut aller plus vite, et, pour le piston de vapeur, qu'on veut détendre davantage. Le résultat de ce défaut d'équilibre est de fermer violemment les soupapes de refoulement et d'aspiration. La marche de ces machines dépend donc, à un très-haut degré, de la solidité de ces pièces essentielles et du système dans lequel elles sont construites; il faut, d'une part, qu'elles présentent une ouverture suffisante pour le passage de l'eau et des corps étrangers qu'elle entraîne souvent avec elle; de l'autre, que, sous une énorme pression, elles se ferment sans choc qui pourrait les briser, sans frottement qui pourrait les user. Aussi les constructeurs ont-ils pour cela essayé de nombreuses dispositions, dans l'examen desquelles nous ne croyons pas devoir entrer, parce qu'elles se rattachent à une théorie spéciale qui sort du cadre de cet ouvrage. Nous avons d'ailleurs une trop courte expérience de ces machines pour que nous osions proposer des solutions aux difficultés et aux imperfections que nous venons de signaler, et qui ne les empêchent pas d'avoir une grande supériorité sur toutes celles qui sont en usage pour la même destination.

Nous ferons encore remarquer, en terminant, qu'il est facile de faire varier la puissance des machines de Cornwall, c'est-à-dire la quantité d'eau élevée et la hauteur à laquelle elle est élevée. Ce dernier changement est même celui qui s'opère le plus facilement. Il suffit, en effet, de diminuer la détente, en conservant la pression initiale et en ajoutant au piston d'eau un nouveau contrepoids égal à $1000^k \Omega_0 Z_1$, Z_1 étant le surcroît de hauteur à laquelle l'eau doit être élevée. Quant au produit de la machine, on peut, dans certaines limites, augmenter et diminuer la longueur de la course et le nombre des coups de piston; car, si le temps de la chute des deux pistons est déterminé, les temps d'arrêts qui les séparent ne le sont pas, et on a une certaine latitude à cet égard. Enfin, en prenant un piston d'un plus grand ou d'un plus petit diamètre, on obtiendra une plus grande ou une plus petite quantité d'eau; mais ce changement, dans les fortes machines, est une opération assez longue, à laquelle on ne pourrait

Digitized by Google

avoir recours pour le service habituel, tandis que rien n'est si facile que d'ajouter des contrepoids et de diminuer la détente. Une machine de Cornwall pourrait donc très-bien desservir deux étages d'une distribution d'eau ; il va sans dire que cette faculté est limitée par la pression maximum de la chaudière, et qu'elle s'achète par une plus grande consommation de charbon.

Nous terminerons ces considérations générales sur les machines de Cornwall en disant que les ingénieurs anglais prétendent être parvenus à réduire la consommation de charbon à moins de 1^k par force de cheval et par heure, c'est-à-dire à produire en moyenne 280,000 kilogrammètres avec 1 kilogramme de charbon [1]. Or, les machines rotatives brûlent trois et quatre fois plus de charbon. Il est donc à désirer que l'usage des machines de Cornwall pour les distributions d'eau s'étende de plus en plus ; c'est dans ce but que nous avons présenté les formules de ce chapitre, dont on pourra tirer parti pour les calculs des conditions de leur établissement.

[1] Nous regrettons de ne pouvoir confirmer ces résultats par des expériences sur les nouvelle machines de Chaillot, dont une seule est aujourd'hui montée et ne se trouve pas encore dans des conditions où l'on puisse calculer son rendement normal. Voici quelles sont les conditions principales du cahier des charges.

Le prix de chaque machine se trouvera fixé par le poids et la classification des pièces qui la composeront. Toutefois il ne devra pas dépasser une somme de 140,000 fr. pour chaque machine complète, depuis la tubulure de prise de vapeur jusqu'à la tubulure de raccordement de la pompe foulante avec le réservoir d'air, et non compris les contrepoids supplémentaires qu'il y aurait lieu d'ajouter ultérieurement.

Chaque machine ne devra pas consommer par heure et par force de cheval en eau montée, sa marche étant réglée à 8 coups de piston par minute, la tension de la vapeur étant de 4 atmosphères dans la chaudière et la détente ayant lieu au 1/4 de la course de piston, plus de 12 kil. de vapeur. Le poids de vapeur sera constaté par le poids d'eau introduit dans la chaudière. Chaque kilogramme de vapeur consommé en moins ou en plus donne lieu à une prime ou à une retenue de 3,000 fr.

Cette condition de rendement, qui a été ainsi stipulée parce que, la chaudière étant construite, on ne pouvait rendre l'entrepreneur responsable de la consommation de charbon, correspond à $1^k,50$ par heure et par force de cheval. Mais on remarquera que la force est ici mesurée en eau montée, c'est-à-dire par l'effet utile et qu'on ne tient même pas compte de la résistance due au frottement de l'eau dans la colonne ascensionnelle.

Les machines représentées par les planches 9 et 10, sont une imitation des machines employées à la distribution de Londres et ont été construites, à l'usine du Creuzot, sur les dessins de M. Corot, inspecteur des machines du service municipal de la ville de Paris.

Digitized by Google

LÉGENDE EXPLICATIVE

DES PLANCHES 9 ET 10 RELATIVES A LA MACHINE A VAPEUR SYSTÈME DE CORNWALL, CONSTRUITE DANS L'ÉTABLISSEMENT DE CHAILLOT.

PLANCHE 9.

Coupe de la machine par des plans parallèles au balancier.

A Cylindre à vapeur. — Ce cylindre est entouré d'une première enveloppe dans laquelle la vapeur circule, et d'une seconde enveloppe remplie de charbon pilé.

B Corps de pompe et piston plongeur.

C Réservoir d'air.

D Soupape d'aspiration.

E Soupape de refoulement.

Ces soupapes sont de simples clapets triangulaires tournant autour d'une charnière horizontale, le choc qui résulte de leur fermeture a déterminé à adopter un autre système de soupape pour la seconde machine.

F Pompe d'eau froide pour le condenseur.

G Pompe à air et à eau de condensation.

H Condenseur.

H' Modérateur de l'injection.

I Réservoir d'eau chaude.

J Pompe alimentaire des chaudières.

K Pompe injectant de l'air dans la partie supérieure du réservoir d'air.

L Arrivée de la vapeur sur le piston.

M Soupape d'équilibre.

N Soupape du condenseur.

(Voir le détail de ces pièces à la planche 10, fig. M, N.)

O Conduite établissant l'équilibre entre le dessus et le dessous du piston de vapeur.

P Cataracte. Voir la planche 10 (fig. 88 *quater*) et sa légende pour l'explication de cet appareil.

Q Contrepoids destinés à produire le refoulement de l'eau dans le réservoir d'air.

R Contrepoids destinés à augmenter la masse en mouvement, et à diminuer par là la vitesse de la descente du piston de vapeur.

S Bâtis en fonte portant les arbres des leviers des diverses soupapes. (Voir la pl. 10 et sa légende, pour l'explication de cette partie du mécanisme.)

S' Poutrelle portant les tasseaux qui ferment les soupapes.

T Balancier.

U Parallélogramme.

Digitized by Google

V Armature portant une traverse destinée à empêcher le piston de vapeur de frapper sur les fonds du cylindre.

V' Ressort en charpente portant un tampon qui reçoit le choc de la traverse V.

X Treuils destinés au montage, aux réparations et au démontage des diverses parties du mécanisme.

Y Tuyau d'aspiration.

Z Niveau de l'eau dans le puisard.

PLANCHE 10.

Détail du mécanisme à l'aide duquel se produisent l'ouverture et la fermeture des soupapes.

aa Arbre de la soupape d'équilibre.

a' Touche de cet arbre, qui reçoit le choc du tasseau de la poutrelle.

α Tasseau de la poutrelle qui, au moyen de la touche *a'*, fait tourner l'arbre de la quantité nécessaire pour que le quart de cercle β s'accroche dans le loquet.

β Quart de cercle qui tourne avec l'arbre *aa* et s'accroche dans le loquet γ.

γ Loquet qui maintient le quart de cercle.

λ Tige du contrepoids qui fait tourner l'arbre lorsque le loquet est soulevé.

ε Balancier du contrepoids.

θ Contrepoids.

μ Tige de la soupape.

bb Arbre de la soupape du condenseur.

b', α', β', γ', λ', ε', θ', μ' } Voir ci-dessus, aux mêmes lettres sans accent, l'explication des parties du mécanisme.

cc Arbre de la soupape d'admission.

c', α'', β'', γ'', λ'', ε'', θ'', μ'' } Voir ci-dessus, aux mêmes lettres sans accent, l'explication des parties du mécanisme.

On voit que les trois soupapes se ferment au moyen de trois mécanismes sem-

Digitized by Google

blables : le mouvement de la poutrelle SS', amenant les tasseaux sur les touches des arbres, les fait tourner d'un quart de révolution, ce qui ferme la soupape, soulève les contrepoids qui sont maintenus dans leur position au moyen d'un loquet, qu'il va suffire de soulever pour les faire retomber et ouvrir la soupape.

d Levier conduit par la poutrelle qui, au moyen des communications de mouvement, soulève alternativement les tiges des cataractes.

e Tige de la cataracte qui ouvre les soupapes du condenseur et du tuyau d'équilibre ; elle s'élève quand le levier s'abaisse.

e' Tige de la cataracte qui ouvre la soupape d'admission ; elle est soulevée par le même levier, au moyen d'une communication de mouvement établie sous le plancher. (Cette cataracte n'est pas représentée sur la figure.)

P Cataracte. Voir, au bas de la feuille, le plan et la coupe de ce petit appareil. Il se compose essentiellement d'un corps de pompe *g*, d'un piston plein *h*, et d'une bâche remplie d'eau *i*. Au fond du corps de pompe est une soupape dormante, s'ouvrant du dehors en dedans. Lorsque le piston est soulevé, une partie de l'eau de la bâche entre dans le corps de pompe ; le piston, abandonné à lui-même, ne redescendrait pas, si la soupape dormante *j* pouvait se fermer exactement ; mais, au moyen du levier *l* réglé par l'écrou extérieur *m*, on empêche cette soupape de retomber exactement sur son siége, et l'eau du corps de pompe, en s'échappant par l'orifice qui résulte de cette fermeture incomplète, fait retomber le piston *h* et la tige *e*, d'autant plus rapidement que cet orifice est plus considérable.

f Tringle qui s'abaisse quand la tige de la cataracte s'élève, et remonte quand elle descend. C'est elle qui, en soulevant les loquets, détermine l'ouverture des cataractes.

Lorsque la poutrelle remonte, la tige du piston de la cataracte devient indépendante de son mouvement.

La seconde cataracte ouvre la soupape du condenseur par un mécanisme complétement analogue, qu'il est, par conséquent, inutile de détailler.

Digitized by Google

CHAPITRE XII.

DU TRACÉ ET DU DIAMÈTRE DES CONDUITES MAITRESSES, DE L'EMPLACEMENT DES RÉSERVOIRS, DES ROBINETS D'ARRÊT ET DE DÉCHARGE, ETC.

123. Dans les chapitres précédents, nous ne nous sommes occupé que de déterminer les sections, les pentes, etc., etc., que doivent avoir les conduites d'un tracé déterminé, pour fournir une certaine quantité d'eau; c'est, comme on l'a vu, une question toujours facile à résoudre d'après des formules d'analyse. Mais les distributions d'eau en présentent une autre beaucoup plus complexe et plus intéressante, c'est de déterminer le tracé des conduites qui doit donner le résultat cherché, avec le moins de dépense possible. Faisons-en tout de suite comprendre l'importance par un exemple simple.

Soient AB une conduite maîtresse donnée, a et b deux orifices à alimenter. Dans la position où les représente la figure 89, il est clair que le moyen le plus économique d'arriver au résultat, c'est d'établir les deux branchements am, bn; mais on voit de suite que si les orifices avaient été en a' et b', il aurait pu y avoir économie à n'avoir qu'un embranchement, se bifurquant sur les deux orifices, au moyen de qa' et qb', au lieu des deux embranchements $a'n'$ et $b'n'$. Cette économie serait plus considérable encore, si, au lieu de deux points, on en avait un plus grand nombre. Quand il s'est agi de faire varier le diamètre d'une conduite, pour avoir le minimum de dépense, nous avons fait voir qu'on ne pouvait jamais espérer, au moyen de cette variation, qu'une économie insignifiante, compensée presque toujours par d'assez graves inconvénients. Il n'en est pas ainsi dans le tracé des conduites, il n'y a, pour ainsi dire, pas de limites aux économies que peut produire une étude raisonnée, ou plutôt aux dépenses auxquelles peut conduire un mauvais système. Si, au lieu de faire les branchements am, bn, on appliquait à ces orifices la solution qui convient aux orifices a' b', c'est-à-dire si l'on faisait un branchement principal $p'q'$ et des branchements secondaires $q'a$, $q'b$, il est évident qu'on dépenserait 3, 4, 5, 6 fois plus qu'il ne faudrait, suivant les positions des orifices et leurs distances à la conduite maîtresse.

Digitized by Google

Il est impossible de soumettre au calcul toutes les combinaisons que peut présenter la disposition d'un certain nombre d'orifices, car cette disposition, combinée d'ailleurs avec les sujétions qui résultent de la direction des voies publiques, varie à l'infini. Nous nous bornerons donc à exposer quelques principes généraux qui peuvent servir de guide dans la recherche du système le plus économique.

124. *Lorsque des branchements doivent être alimentés par une conduite maîtresse qui les divise en deux parties, la position de cette conduite, qui donne le minimum de dépense, est celle qui permet de leur donner le même diamètre.*

En effet, si nous considérons le branchement *ab* (fig. 90), alimenté au point *m* de son parcours par la conduite A*m*, la dépense de ce branchement sera, comme nous l'avons vu :

$$ld + l'd',$$

et on aura, pour déterminer, d et d',

$$d = Al^m, \quad d' = A'l'^m,$$

A et A' étant des fonctions de Q et de H, de Q' et de H', variant suivant la nature du service que doit faire le branchement, la dépense S est donc représentée par

$$S = Al^{m+1} + A'l'^{m+1},$$

En différentiant cette équation et remarquant qu'on a $l + l' = L$, et par conséquent $dl = -dl'$, on a

$$Al^m = A'l'^m,$$

et par conséquent $d = d'$.

Ce principe s'applique, comme on voit, toutes les fois que les deux parties du branchement font un service de même nature. S'il s'agit d'un service en route, on aura, en vertu des équations $d^5 = \frac{1}{3}\frac{\gamma Q^2 l^3}{H}$ et $l + l' = L$,

$$\frac{l}{l'} = \sqrt[3]{\frac{H}{H'}}, \quad l = \frac{\sqrt[3]{H}}{\sqrt[3]{H} + \sqrt[3]{H'}}, \quad l' = \frac{\sqrt[3]{H'}}{\sqrt[3]{H} + \sqrt{H'}}.$$

On voit que pour peu que le niveau des extrémités des branchements ne varie pas trop, l ne diffère pas sensiblement de l'.

Pour un service d'extrémité, on aura de même, en vertu de l'équation $d^5 = \frac{\gamma Q^2 L}{H}$,

Digitized by Google

$$\frac{l}{l'}=\frac{HQ'^2}{H'Q^2},\quad l=\frac{HQ'^2}{H'Q^2+HQ'^2},\quad l'=\frac{H'Q^2}{H'Q^2+HQ'^2}.$$

Si le niveau des orifices était sensiblement le même, la longueur totale du branchement serait divisée en parties proportionnelles aux carrés des débits. En général, l'alimentation doit toujours se rapprocher de l'orifice où elle est la plus difficile, soit à cause du niveau, soit à cause du volume à débiter, ce qu'il était du reste facile de prévoir.

On voit qu'ayant un système quelconque de branchements à alimenter, il sera toujours facile de calculer le point où ils doivent être coupés par le tracé de la conduite maîtresse, condition qui le déterminerait, si l'on ne devait avoir égard qu'à la dépense des branchements; mais, dans la pratique, on doit aussi tenir compte de celle de la conduite maîtresse elle-même. Si, par exemple, elle devait partir du réservoir A, il est évident que la ligne brisée A*mm'm''* donnerait un tracé plus dispendieux que la ligne droite A*m*, qui, considérée isolément, fournirait le plus économique. Il y a donc entre ces deux lignes une direction intermédiaire AN à laquelle correspond le minimum de dépense. Sa détermination, qui serait très-compliquée si l'on envisageait le problème d'une manière abstraite, est toujours très-simple dans la pratique. En effet, les tuyaux ne pouvant être placés que dans la direction des voies publiques, les principes que nous venons d'exposer et ceux qui vont suivre suffiront toujours pour que l'ingénieur puisse déterminer immédiatement la solution la plus avantageuse parmi le très-petit nombre de celles qui sont possibles.

Le prix de transport par mètre cube d'une quantité d'eau déterminée, au moyen de tuyaux, est d'autant moins élevé que cette quantité est plus considérable.

Le prix A de transport d'une quantité d'eau déterminée Q, à une distance L, est, en effet, proportionnel à la dépense d'établissement de la conduite; on peut donc écrire :

$$A=\mu LD=\mu\frac{\gamma^{\frac{1}{5}}Q^{\frac{2}{5}}L^{\frac{6}{5}}}{H^{\frac{1}{5}}};$$

le prix de transport de l'unité de volume sera donc

$$a=\frac{A}{Q}=\mu\frac{\gamma^{\frac{1}{5}}L^{\frac{6}{5}}}{H^{\frac{1}{5}}Q^{\frac{3}{5}}}.$$

Digitized by Google

On voit que ce prix est en raison inverse de la puissance $\frac{3}{5}$ du volume, et que, par conséquent, il y a toujours avantage à concentrer les masses d'eau, au lieu de les éparpiller dans un grand nombre de conduites. C'est par une application de ce principe général que nous avons déjà fait voir le surcroît de dépenses qui résultait de la division de l'eau dans des conduites parallèles (n° 54).

Remarquons, en passant, que la dépense en tuyaux d'une distribution ne croît pas proportionnellement à la quantité d'eau distribuée, mais seulement à la puissance $\frac{2}{5}$ de cette quantité.

Si, pour une distribution de 50 litres, elle s'élève à . . . . . A,

pour une distribution de 60 litres, elle s'élèvera à $A\left(\frac{6}{5}\right)^{\frac{2}{5}} = 1{,}08\,A$,

pour une distribution de 100 litres, à . . . . . $A(2)^{\frac{2}{5}} = 1{,}32A$.

125. Nous allons déduire des principes précédents, comme type de distribution, l'alimentation d'un terrain indéfini, supposé sensiblement horizontal, pour faire voir suivant quelle loi rationnelle les tuyaux de différents diamètres devraient s'intercaler dans les mailles du réseau de conduites qui doit couvrir le terrain.

D'après ce que nous avons dit plus haut (n° 124), on reconnaît d'abord que le terrain doit être divisé en deux parties symétriques par une conduite principale. Le diamètre de cette conduite et celui de tous les autres seront supposés constants, pour que le service puisse se faire dans les deux sens. D'ailleurs, après avoir résolu le problème dans cette hypothèse, rien ne serait si facile que de faire varier les diamètres suivant les débits. La question est donc ramenée à distribuer l'eau sur un des côtés d'une conduite considérée comme réservoir inépuisable.

Le réseau sera évidemment alimenté par des conduites perpendiculaires à cette ligne maîtresse; il s'agit d'en déterminer la position, la longueur et le diamètre. Considérons donc isolément une de ces conduites BD (fig. 91). Un instant de réflexion suffit pour reconnaître que la limite du terrain qu'elle doit alimenter est donnée par les bissectrices BM, BN des angles droits formés en B par le branchement BD, car, suivant qu'un point sera situé à droite ou à gauche de cette bissectrice, il se trouvera plus près de la conduite ou du branchement. Les branchements sur BD et sur BC, tels

Digitized by Google

que *aq* et *ap*, ne devront donc pas dépasser la ligne BM. Il suit de là qu'on ne devra trouver sur la ligne ABC de branchement de l'importance de BD, c'est-à-dire de son diamètre, qu'à une distance de B, telle que BC=BD. On limitera, de même, par la bissectrice CD, le dernier bassin de ce nouveau branchement, qui se trouvera être C*m*M, comme celui de DB sera D*m*B, comme celui de BC sera B*m*C. Si ces trois triangles rectangles isocèles sont assez grands pour qu'il soit nécessaire d'avoir de nouveaux branchements, il est clair qu'ils devront diviser les bases BD, BC, CM en deux parties égales, car s'ils étaient à droite ou à gauche, la dépense des branchements secondaires serait augmentée, comme nous l'avons démontré plus haut.

En continuant et en répétant le même raisonnement pour les parties de terrain contiguës, on arrive à former le réseau type représenté par la figure 92. Des numéros, d'autant plus élevés que les conduites alimentent de plus petits bassins, indiquent leur importance; ces bassins, limités par des lignes ponctuées, sont des carrés construits sur les conduites comme diagonales, et dont la surface croît suivant une progression géométrique, dont la raison est 4; de sorte que si d est le diamètre d'un certain ordre de conduites, le diamètre d' de l'ordre supérieur sera donné par l'équation

$$d'^5 = \frac{1}{3}\frac{\gamma(4Q)^2}{i} = 16d^5,$$

d'où

$$d' = d\sqrt[5]{16} = 1{,}75d.$$

On voit d'ailleurs, sur la figure, que la longueur d'une série de tuyaux est toujours double de celle de la série précédente, car elle doit être intercalée dans toutes les autres séries. Pour faire comprendre le sens de la formule géométrique représentée par la figure 92, nous avons interrompu les conduites aux limites des terrains qu'elles alimentent; mais il est clair que, dans la pratique, elles devraient se continuer sans aucune interruption.

126. Le cas que nous venons de considérer est, sans contredit, une abstraction mathématique qu'on ne doit jamais rencontrer, cependant nous pensons qu'elle peut servir de guide dans beaucoup de circonstances. Citons, comme exemple, la distribution des eaux de l'Ourcq, telle qu'elle existait à l'époque où Genieys publia son ouvrage (planche VIII, 2me partie).

Voici comment, dans l'explication de cette planche, cet ingénieur motive

Digitized by Google

cette distribution : « On a suivi le système proposé en 1810 par M. Gi-
« rard, et qui consiste à dériver soit du bassin de la Villette, soit de l'a-
« queduc de ceinture qui, partant de ce bassin et se soutenant à la
« même hauteur, contourne la partie septentrionale de Paris jusqu'à la
« plaine de Monceaux, le volume d'eau que l'on destine à chaque fontaine,
« et à l'y porter par une conduite particulière. »

Ce système est précisément le contre-pied de celui que nous venons d'exposer. Il est facile de voir qu'il tend à multiplier outre mesure le nombre des conduites maîtresses, et à les isoler entre elles, de manière à ce qu'elles ne puissent se suppléer. L'eau de l'Ourcq, amenée au bassin de La Villette, pénètre dans Paris au moyen d'un aqueduc souterrain qui se développe parallèlement à l'enceinte, dans un terrain beaucoup trop élevé pour qu'il puisse être alimenté autrement qu'avec des pompes. Le but de cet aqueduc était de diminuer la longueur des nombreux branchements, qui, dans ce système morcelé, auraient dû rayonner de l'origine de la distribution. Mais, dès qu'on reconnaît les nombreux inconvénients de ce système, l'aqueduc de ceinture, à partir de la galerie Saint-Laurent, n'est plus motivé. Une forte conduite, partant de l'extrémité de cette galerie, traversant Paris par la rue Saint-Denis et la rue de la Harpe, et aboutissant à un réservoir d'extrémité ; puis des branchements perpendiculaires, ou à peu près, par les boulevards, par les rues Saint-Honoré et Saint-Antoine, par les quais de la rive gauche ou les rues parallèles, desserviraient les mêmes points, avec un développement de conduites maîtresses beaucoup moindre et en supprimant les 3/4 de l'aqueduc de ceinture. Que si on tenait absolument à dédoubler la conduite principale, pour n'avoir jamais d'interruption complète de service, on aurait pu en placer une dans la direction de celle du pont de la Tournelle, et une autre par la rue du Faubourg-Saint-Denis et les boulevards, jusqu'à la Madeleine, la place de la Concorde, etc., etc., etc. Les conduites transversales auraient rendu le système de distribution solidaire, tandis que celui que représente la planche constitue plutôt douze distributions isolées qu'une distribution unique; Paris se trouve divisé en douze sections perpendiculaires à la Seine, complétement indépendantes; car les tuyaux répartiteurs, qui ne sont pas figurés sur le plan, sont complétement insuffisants pour établir entre les conduites maîtresses une communication utile; d'ailleurs, cet isolement entrait tellement dans le système primitif de l'auteur du projet, que

Digitized by Google

ces communications secondaires étaient rarement établies. Le système primitif de la canalisation de Paris n'est donc pas, selon nous, un exemple à imiter.

127. Il nous est évidemment impossible de prévoir tous les cas qui peuvent se présenter, et d'y appliquer les principes généraux que nous venons d'exposer, parce que leur nombre est infini, et que la solution qui convient à chacun d'eux est plutôt une affaire d'imagination et d'invention que de calcul; mais on peut du moins faciliter cette recherche par quelques exemples qui mettent en évidence les avantages et les inconvénients des divers partis qu'on peut adopter. C'est ce que nous allons essayer de faire dans la suite de ce chapitre.

Supposons l'eau amenée et élevée à un certain point O (fig. 93), que nous appellerons l'origine de la distribution, et dont le niveau domine nécessairement celui de tous les orifices qu'on veut servir. Pour des machines sans château d'eau, c'est-à-dire où l'eau est poussée directement dans la conduite ascensionnelle, ce point doit être considéré comme situé à la hauteur qui serait donnée par un manomètre implanté sur cette conduite. L'origine d'une distribution peut être située dans le périmètre à alimenter ou en dehors : il suffit évidemment de s'occuper de ce dernier cas, qui comprend le premier, puisque quand l'origine est en dehors, le premier travail à faire est de la transporter en dedans par un aqueduc ou une conduite. Soient donc (fig. 93 et 94) ABCDEF le polygone qui renferme tous les orifices à alimenter, et O un point extérieur, d'où l'eau doit descendre à tous les orifices. Pour ce qui concerne la conduite de l'eau depuis le point O jusqu'au périmètre, nous ne pouvons que renvoyer aux considérations que nous avons exposées sur les conduites et les aqueducs (chap. X). Nous ferons seulement observer que de l'eau élevée par une machine peut être conduite par un aqueduc, lorsque près de la machine se trouve un coteau qui s'étend dans le sens de la surface à alimenter. On fait alors dégorger le tuyau ascensionnel sur le versant du coteau, à une hauteur convenable pour que l'aqueduc ait une pente suffisante.

128. Soit qu'on prenne ce dernier parti, soit que l'on conduise le tuyau jusqu'au périmètre, il y a toujours un premier tuyau dont le diamètre est arbitraire. En effet, quelle que soit sa dimension, on pourra toujours se procurer la charge nécessaire pour lui faire débiter un volume d'eau déterminé au moyen d'une machine plus puissante et d'une plus grande consom-

Digitized by Google

mation de charbon. Ainsi, si l'on avait à élever $0^m,075$ d'eau par seconde, à une hauteur de 50^m, au moyen d'une machine à vapeur, et que le diamètre de $0^m,40$ dût donner une perte de charge de 10^m, le problème serait évidemment résolu avec une machine de 60 chevaux, dont il serait facile de calculer la dépense; mais il le serait aussi avec une conduite d'un diamètre quelconque, $0^m,30$, par exemple, donnant lieu à une perte de charge $10\left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{3}{5}}=45^m$, exigeant une machine de 95 chevaux et une consommation de charbon correspondante à cette force. La question serait de savoir si l'économie obtenue dans l'établissement de la conduite ascensionnelle compenserait l'excédant de dépense provenant de la machine. En un mot, on voit que, dans toute question de cette nature, il s'agit de déterminer le diamètre qui donne un minimum pour la somme des dépenses. C'est ce qui peut se faire au moyen d'un calcul fort simple.

Soient : C le prix du charbon consommé pour produire 1000 kilogrammètres de travail avec la machine qu'on doit employer. Si, par exemple, elle devait brûler 3 kilog. par heure et par force de cheval, et que le charbon coûtât $0^f,03$ le kilog., on aurait $C=\frac{0,03\times3}{0,075\times3600}=0^f,00033$ [1];

q le débit de la conduite par seconde;

N le nombre d'heures pendant lequel elle doit marcher par jour;

$H=\frac{Lq^2}{400D^5}$ la perte de charge dans la conduite ascensionnelle;

μD le prix du mètre courant de conduite;

F le prix d'établissement de la machine par force de cheval.

La dépense nécessaire pour vaincre le frottement de la conduite ascensionnelle se composera :

1° Du prix d'achat de la machine, c'est-à-dire de $F\frac{q}{0,075}H=\frac{FLq^3}{30D^5}$;

2° De la consommation de charbon par an capitalisée. Le nombre de kilogrammètres, employé à vaincre le frottement de la machine, est par heure de $3600qH$, par jour de $3600NqH$, et par an de $365\times3600NqH$; en

[1] Dans les applications numériques, le chiffre ainsi obtenu devrait être un peu augmenté pour tenir compte de quelques autres frais proportionnels à la puissance de la machine et au temps pendant lequel on la fait marcher, tels que le graissage de la machine, le salaire des ouvriers, les réparations, etc., etc.

Digitized by Google

mettant dans cette expression pour H sa valeur $\frac{Lq^2}{400D^5}$, et en la multipliant par 20C pour avoir le capital qu'elle représente, on obtient pour la dépense relative au charbon

$$\frac{65700CNLq^3}{D^5}.$$

La dépense de la conduite étant μLD, la quantité à rendre en minimum est

$$S=\frac{FLq^3}{30D^5}+\frac{65700CNLq^3}{D^5}+\mu LD,$$

et l'on en déduit

$$D=\sqrt{q}\sqrt[6]{\frac{\frac{1}{6}F+328500CN}{\mu}}. \qquad (54)$$

En différentiant la valeur de S, on trouve :

$$5\left(\frac{FLq^3}{30D^6}+\frac{65700CNLq^3}{D^6}\right)=\mu LD;$$

on a donc, pour la valeur de D qui donne le minimum de dépense,

$$S=1,20\mu LD;$$

on trouverait de même, dans le cas où, pour assurer le service, l'on aurait eu recours au système d'une double conduite [1],

$$D'=0,704D, \quad S'=2,40\mu LD'=1,70\mu LD=1,42S.$$

On voit que la considération des dépenses, nécessaires pour vaincre le frottement de la conduite ascensionnelle, diminue le rapport qui existe ordinairement entre celles de la conduite simple et de la conduite double. Ce rapport, représenté par 1,52 (n° 54) quand il ne s'agit que d'une communication de réservoir à réservoir, devient 1,42 quand on est obligé de se servir de machines à vapeur.

On doit remarquer que la valeur de D, trouvée plus haut, est indépendante de la longueur de la conduite : cela tient à ce que toutes les dépenses sont proportionnelles à cette quantité, qui n'a d'influence que sur le chiffre de l'économie qu'on peut obtenir en faisant varier le diamètre. Des variations même assez sensibles dans les quantités de F, C, N et μ, n'en donneraient que d'insignifiantes dans celle de D, attendu que ces

[1] Dans ce cas, il faut, dans les formules précédentes, remplacer H par $\frac{1}{4}\frac{Lq^2}{400D^5}$ et μ par 2μ.

Digitized by Google

quantités n'y entrent que sous un radical dont l'indice est 6. Si l'on fait

$$F=1800^f,\quad N=12^h,\quad C=0^f,00035,\quad \mu=100^f,$$

qu'on peut considérer comme des valeurs moyennes de ces quantités, on aura

$$D=1,60\sqrt{q},\quad D'=1,13\sqrt{q},$$

expressions qu'on pourra regarder comme des approximations suffisantes pour des études préliminaires. Ainsi, en donnant à q diverses valeurs, on aurait :

$q=0^{m.c.},010$	$0^{m.c.},020$	$0^{m.c.},030$	$0^{m.c.},040$	$0^{m.c.},050$	$0^{m.c.},060$	$0^{m.c.},070$...
$D=0^{m},160$	$0^{m},226$	$0^{m},277$	$0^{m},32$	$0^{m},36$	$0^{m},392$	$0^{m},424$...
$D'=0,013$	0,159	0,195	0,23	0,25	0,277	0,299...

Il va sans dire que ces chiffres doivent être rectifiés d'après les circonstances locales, et que des considérations, qui ne sont pas susceptibles d'entrer dans ces calculs, peuvent engager l'ingénieur à en modifier les résultats. Nous avons admis, par exemple, une hypothèse qui n'est pas très-exacte, c'est qu'on peut assimiler une dépense annuelle au capital qu'elle représente (voir 2e partie, note de la page 64). Or, il est souvent plus facile et plus avantageux de dépenser 5000 fr. par an que d'engager d'une manière définitive un capital de 100000 fr. On ne doit donc voir dans les résultats précédents que des chiffres destinés à servir de point de départ à des recherches ultérieures plus complètes.

Si l'eau devait être élevée par un moteur hydraulique, le diamètre serait limité par un calcul semblable, dans lequel on ferait entrer les éléments spéciaux de la question. Mais ces éléments dépendent trop des circonstances locales, pour qu'on puisse les soumettre à un type commun. On ne peut donner d'autre règle que de chercher la combinaison qui donne le minimum de dépense, et de voir ensuite quelle modification on doit lui faire subir pour qu'elle satisfasse aux autres conditions d'une bonne distribution.

129. Comme nous l'avons dit plus haut, l'eau, en sortant des machines, peut être conduite directement dans le périmètre à alimenter par des tuyaux ou par un aqueduc. Si les localités se prêtent à cette dernière combinaison, on devra prolonger le tracé de l'aqueduc jusqu'au point où la conduite

Digitized by Google

forcée commencerait à présenter de l'avantage. Mais il est évident que l'aqueduc ne pourrait entrer dans le périmètre qu'en remblais, car il est nécessairement supérieur à la surface qu'il est destiné à alimenter. On sera donc obligé d'arrêter cet ouvrage en un certain point M voisin du périmètre, d'où l'on fera partir la première conduite forcée. Une disposition particulière du périmètre et du terrain pourrait engager à prolonger l'aqueduc parallèlement à ce périmètre, pour que la plupart des conduites vinssent y puiser directement. C'est, comme on vient de le voir, ce qui a lieu à Paris pour l'aqueduc de ceinture. Mais, avant de prendre ce parti, on devra se rendre bien compte des dépenses dans lesquelles il entraîne. En effet, le développement MN de l'aqueduc et la longueur, en dehors du périmètre, de toutes les conduites qui viendraient s'y brancher, seraient complétement perdus pour la distribution en route, et il est rare qu'en partant de M et poussant dans l'intérieur du périmètre une conduite maîtresse, on n'obtienne pas un résultat plus avantageux, car cette conduite, distribuant l'eau à droite et à gauche, permet de diminuer la longueur et le diamètre des branchements.

130. Il n'est guère possible qu'une distribution d'eau se passe de réservoir. En effet, la consommation est variable, tandis que l'alimentation est constante; ainsi l'eau amenée par les sources naturelles, ou élevée par les machines hydrauliques, est fournie régulièrement pendant vingt-quatre heures, tandis que la consommation se fait en général en douze heures. Pendant ces douze heures même, elle n'est pas régulière; de sorte que, même avec des machines à vapeur, on est obligé d'avoir des réservoirs pour ne pas perdre l'eau, qui en certains moments dépasse les besoins de la consommation. Le réservoir permettant d'ailleurs d'interrompre l'alimentation pour des réparations, sans suspendre le service, est donc à peu près indispensable: on ne peut mettre en question que son emplacement et sa capacité.

Si le réservoir était placé en tête de l'aqueduc vers H, les dimensions de l'aqueduc devraient être telles qu'il débitât, non pas le produit par seconde de la source ou de la machine, mais la consommation maximum par seconde. Or, cette considération peut être déterminante pour certains aqueducs, dont la dépense pourrait être beaucoup augmentée par cette circonstance; de plus, il est évident que tout accident, que toute réparation qui aurait lieu dans le réseau des conduites de la distribution in-

Digitized by Google

terromprait le service. Si l'on place le réservoir vers M, la position sera meilleure. L'aqueduc, réduit au minimum de section et, par conséquent, au minimum de dépense, pourrait, suivant la capacité du réservoir, être mis en chômage plus ou moins longtemps, sans qu'il y ait interruption de service; mais, outre que la conduite MXDR, partant du réservoir, devrait avoir le diamètre nécessaire pour faire la distribution qui correspond au maximum de consommation, une réparation en X pourrait arrêter tout le service.

Si, au contraire, le réservoir était placé en R, extrémité de la conduite principale, il est évident d'abord qu'un accident quelconque, arrivé dans le parcours, ne suspendrait le service qu'entre les deux robinets d'arrêt les plus voisins, car alors l'alimentation se ferait des deux côtés; de plus, le diamètre de la conduite MXDR, alimentée des deux côtés pendant le moment de la grande consommation, pourrait être en général beaucoup plus petit que dans le cas précédent. L'extrémité de la conduite principale qui traverse le périmètre est donc l'emplacement qui satisfait le mieux aux conditions d'une bonne distribution; mais beaucoup de circonstances peuvent cependant faire préférer une autre position. La dépense du réservoir, très-différente suivant le niveau du terrain, ainsi qu'on le verra dans le chapitre suivant, est une des plus importantes. Si, par exemple, à l'extrémité R de la conduite le sol, sensiblement plus bas qu'en M, ne permettait pas que le réservoir, qui y serait établi, fît seul le service de la distribution, pendant que l'alimentation directe serait interrompue, on ne pourrait établir en ce point qu'un réservoir d'extrémité alimenté par la conduite, dans les moments où le débit en route est le moins considérable (voir le chapitre VII). En résumé, le réservoir principal devant se trouver à une hauteur qui domine tous les orifices à servir, on doit considérer comme un avantage de pouvoir le placer à l'extrémité de la conduite qui, partant de l'origine de la distribution, en traverse le périmètre, et tenir compte de cette circonstance dans la comparaison des divers systèmes de distribution qu'il serait possible d'adopter.

Quant à la capacité du réservoir, on ne peut déterminer par le calcul que son minimum; car, dans l'intérêt de la distribution d'eau, elle ne saurait être trop grande, puisque plus elle est grande, plus elle donne de temps pour parer à une interruption de service. La capacité du réservoir dépend donc des facilités qu'on a pour l'établissement de cet ouvrage et des chances

Digitized by Google

d'interruption auxquelles est soumise l'alimentation. Ce que nous disons de la capacité, nous pouvons le dire de la hauteur et de la profondeur : le trop-plein ne saurait être trop haut, le radier trop bas. Pour la hauteur, il y a une limite supérieure, qui résulte soit du niveau des sources, soit de la puissance des machines; quant à la profondeur, elle est donnée par la condition que l'alimentation des orifices les plus hauts soit encore convenable, lorsque l'eau est descendue près du fond du réservoir.

Au lieu d'un réservoir, on peut en avoir plusieurs. Ainsi, on pourrait en placer en M, en N, en C...; dans ces deux dernières positions, ils auraient l'avantage d'augmenter la puissance des conduites à l'extrémité desquelles ils seraient placés. L'utilité et la convenance de ces ouvrages ont été discutées dans le chapitre VII, nous n'y reviendrons pas ici. On fera toujours bien, dans tous les cas, de se réserver la faculté d'ajouter ultérieurement de nouveaux réservoirs à la distribution, quand la nécessité s'en fera sentir.

Les considérations que nous venons d'exposer s'appliquent parfaitement au cas où l'eau serait amenée de l'origine O, à l'aide d'une conduite forcée OGF. Mais alors on peut se demander si cette conduite ne doit pas être divisée en deux tuyaux égaux, de manière qu'en cas de réparation le service ne soit pas interrompu. Nous avons fait voir tout à l'heure (n° 129), qu'une des conséquences de ce système est une augmentation de 42 pour 100 dans les dépenses relatives à l'établissement de la conduite ascensionnelle; reste à examiner si les avantages qu'il procure sont une compensation suffisante de cet inconvénient.

131. C'était autrefois un usage, dans les distributions d'eau, de doubler tous les moyens d'alimentation, de manière à rendre nulles pour ainsi dire les chances d'interruption. Cela tenait à ce qu'on s'exagérait les inconvénients de ces interruptions, et les probabilités des accidents qui peuvent les amener.

Nous l'avons déjà dit plusieurs fois, l'eau est tellement nécessaire, qu'il n'y a nulle part d'agglomération d'hommes qui en soit dépourvue. Elle peut être en petite quantité ou de mauvaise qualité, mais elle existe toujours en quantité et en qualité suffisantes pour l'existence de l'agglomération. La difficulté que rencontre toute distribution nouvelle n'est pas dans les interruptions accidentelles qui peuvent arriver inopinément, mais dans les anciennes habitudes qui empêchent d'apprécier à leur valeur les amé-

Digitized by Google

liorations qu'elle apporte dans l'ancien état des choses. Quand les frères Périer établirent les machines de Chaillot, leur entreprise donna lieu à des spéculations effrénées, qui toutes étaient basées sur ce raisonnement : il y a trente mille maisons à Paris, lesquelles donneront lieu à un abonnement moyen de 100 fr., et par conséquent à un revenu brut de 3 millions; de là des bénéfices hypothétiques, qui firent monter les actions des eaux à des prix exorbitants. Voilà plus de soixante-dix ans que ces calculs sont faits, et la ville de Paris ne compte pas encore sept mille abonnés. Sans doute, avec le temps les anciens moyens d'alimentation disparaissent, et une suspension momentanée du service pourrait devenir un inconvénient très-grand. Mais c'est une faute économique que de vouloir remédier à des inconvénients futurs par des dépenses immédiates.

Il ne faut pas perdre de vue que les distributions d'eau doivent être faites de manière à recevoir les développements successifs que ne manquent jamais de réclamer de nouveaux besoins à satisfaire, par suite de l'augmentation de la population et de l'aisance générale. On est alors naturellement conduit à doubler les machines, les conduites, les réservoirs; et la sûreté du service résulte forcément du développement qu'on est obligé de lui donner, au moment où elle devient réellement utile. Mais, dans l'origine de la distribution, ce système conduit à des dépenses excessives, et, à moins de circonstances particulières, on fera bien de ne pas le suivre. A Dieu ne plaise que nous voulions interdire par là toutes précautions ou dispositions qui auraient pour résultat de prévenir les interruptions de service; nous disons seulement que ces dispositions doivent être renfermées dans de raisonnables limites. Si, par exemple, la distribution est alimentée par une machine à vapeur, il faut qu'il y ait au moins deux chaudières, si le service se fait avec une, ou trois, s'il se fait avec deux; mais on n'aura pas deux machines, parce que le réservoir suffira amplement pour les réparations courantes, comme nous le prouverons tout à l'heure. Si la distribution est alimentée par une roue hydraulique et que le cours d'eau, soit par les crues, soit par des sécheresses, donne lieu à de longs et fréquents chômages, il faudra bien avoir une machine à vapeur pour remplacer le moteur naturel, etc., etc. Les travaux que nous proscrivons, ou plutôt que nous conseillons d'ajourner, sont ceux qui n'ont d'autre but que de parer à des accidents imprévus dont on s'exagérait autrefois l'importance et les conséquences. Il faut qu'un accident sur une conduite soit bien grave

Digitized by Google

pour exiger une interruption de service de vingt-quatre heures. On a, en effet, en magasin les tuyaux de rechange, les manchons, etc., dont on peut avoir besoin en pareil cas; ce n'est donc plus qu'une affaire de main-d'œuvre sur place, qui ne demande jamais beaucoup de temps. Nous considérons comme une faute d'établir, pour le même service, deux conduites *dans la même voie;* mais il ne faudrait pas, nous le répétons, faire de ce principe une règle trop absolue : il arrive souvent, dans les villes, que deux voies parallèles ou sensiblement parallèles aient besoin d'eau et que, par conséquent, l'établissement d'une double conduite soit indispensable; on peut alors déterminer leur diamètre de manière qu'elles puissent se suppléer.

Supposons que la conduite F*d*R (fig. 94) soit ce que nous appelons l'axe de la distribution, dans le système où l'eau est amenée par la conduite OGF, et que le branchement FX soit d'ailleurs indispensable, il est évident qu'on pourra lui donner à peu de frais un nouveau degré d'utilité en augmentant son diamètre, de manière qu'une réparation entre F et *d* n'arrête pas le service. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

L'art de faire et de poser les conduites a subi de nombreux perfectionnements, de sorte que les avaries deviennent de plus en plus rares; des relevés faits dans le service de la ville de Paris, il résulte qu'on fait à peine, sur l'immense réseau de conduites qui le couvre, une réparation par kilomètre et par an. La plupart de ces réparations n'interrompent même pas le service; il suffit souvent de remater le plomb des joints pour arrêter les fuites. Or, le sol de Paris est dans les plus mauvaises conditions, les conduites y reposent presque toujours sur des remblais de décombres que la moindre fuite fait tasser; de là des ruptures qui n'auraient jamais lieu dans un terrain vierge. On trouve, dans les relevés que nous venons de citer, que certaines conduites placées dans de bonnes conditions n'ont donné lieu à aucune réparation pendant trois ans. Or, non-seulement le sol de Paris est mauvais, mais il est encore continuellement bouleversé par la pose des nouveaux branchements, par la construction de nouveaux égouts, par l'établissement et la réparation des conduites de gaz, par le remaniement des pentes des rues; enfin il est ébranlé par le passage de nombreuses et lourdes voitures sur un pavé souvent raboteux. Il est donc permis de penser que le nombre des réparations, déjà très-restreint à Paris, le serait encore bien davantage ailleurs.

Quant aux machines, nous ne croyons pas qu'on doive recourir à d'au-

Digitized by Google

tres précautions que celles qui sont prises dans toutes les usines. Partout le chômage des ateliers, par suite de la suspension de la marche d'une machine à vapeur, est un inconvénient; cependant les usines n'ont pas en général de machines de rechange. Nous pouvons citer d'ailleurs un exemple qui nous paraît concluant. L'établissement de Chaillot renfermait deux machines d'égale puissance; après soixante-cinq ans de marche il a fallu les remplacer, elles avaient subi de si grandes et de si nombreuses réparations, qu'elles étaient complétement disloquées. De nouvelles machines furent construites, et naturellement le remplacement se fit d'une manière successive, pour que le service ne fût pas interrompu pendant le montage. Une des vieilles machines fit donc seule le service pendant dix-huit mois, et il n'en est pas résulté le moindre inconvénient pour la distribution, quoiqu'on fût obligé de marcher souvent jour et nuit. Il est vrai de dire qu'on disposait de réservoirs qui pouvaient contenir plus de deux fois le produit journalier des machines, ce qui permettait d'assez longs chômages. Lorsqu'on a des réservoirs de cette capacité, le doublement des machines est donc un luxe inutile. Sans doute, quand le moteur peut se diviser en deux, sans qu'il en coûte de grands frais de construction ou d'entretien, on peut avoir recours à ce système, faire, par exemple, deux machines de cinquante chevaux au lieu d'une de cent; mais, ayant besoin d'une machine de cent chevaux, ce serait une faute d'en faire une de rechange immédiatement. Dans dix ans, quinze ans..., cette seconde machine deviendra nécessaire, on la fera alors suivant les besoins de la distribution, et en profitant de tous les progrès qui se seront réalisés depuis la construction de la première.

132. Une des questions préliminaires à résoudre pour beaucoup de distributions d'eau est de savoir si l'on doit les diviser en plusieurs étages. Le sol compris dans le périmètre à desservir présente quelquefois des différences de niveau bien sensibles : il y a des quartiers élevés et des quartiers bas, et l'on se demande s'il est bien nécessaire d'élever à la plus grande hauteur toute l'eau de la distribution. Projetons sur un plan vertical tous les orifices à desservir (fig. 93), ils se trouveront compris entre deux horizontales, dont la distance pourra être considérable. On pourra donc diviser cette hauteur en deux, trois ou un plus grand nombre de parties, et considérer chacune d'elles comme une distribution distincte. Soit, par exemple, une ville dont l'orifice le plus bas est situé à

Digitized by Google

10^m au-dessus du cours d'eau dans lequel l'eau est puisée par des machines, et l'orifice le plus haut à 50^m; il est clair qu'en partageant le service en deux parties égales, on sera obligé de faire un travail mécanique moins considérable. Ainsi, supposons qu'on s'impose pour condition d'avoir toujours 2^m de charge sur l'orifice le plus élevé, et que la perte de charge qui aura lieu dans le passage des tuyaux doive être de 8^m environ. En ne faisant qu'un service, toute l'eau devra être élevée à 60^m dans le château d'eau (ou, ce qui revient au même, la pression sera de 60^m sous le piston), tandis qu'avec deux services, une partie seulement sera élevée à cette hauteur, et le reste à une hauteur moindre, à 40^m par exemple, si la ligne de séparation des services est au milieu. Supposons qu'il y ait autant de dépense d'eau dans les deux services, le travail à faire sera réduit dans le rapport de $\frac{60}{\frac{1}{2}60+\frac{1}{2}40}=\frac{6}{5}$. Au lieu de brûler pour 6,000 fr. de charbon, on n'en brûlerait que pour 5,000, au lieu de 60,000 que pour 50,000. Mais ce serait une grande erreur que de croire que l'économie générale obtenue dans la dépense de la distribution fût dans le même rapport.

Remarquons que si la machine élévatoire est située hors du périmètre, il faudra presque toujours deux tuyaux au lieu d'un pour l'y conduire, premier surcroît de dépense; il faudra un plus grand nombre de réservoirs; ils pourront, il est vrai, être d'une capacité moitié moindre; mais la dépense de construction, d'entretien, de garde, sera toujours plus élevée; les diamètres des tuyaux de la distribution basse, ayant moins de charge, devront être plus grands, sans compter que leur développement sera nécessairement plus considérable; que, par exemple, un orifice de la distribution haute se trouve très-voisin d'une conduite de la distribution basse, on ne pourra pas profiter de cette circonstance, et l'on sera obligé de faire un long branchement pour le rattacher à la distribution haute. La division du service entraîne ordinairement la division des machines élévatoires; car tous les systèmes de machines ne se prêtent pas à une grande variation de puissance, et ceux qui s'y prêtent ne le font qu'en perdant une partie de leurs avantages économiques. Or, plus les machines sont petites, moins il y a d'effet utile et plus il y a de dépense de construction. Ainsi, par exemple, en supposant que, dans le système de distribution unique, il fallût une machine de soixante chevaux pour la hauteur de 60^m, et deux machines, une de trente et une de vingt, dans le système divisé, on ne réali-

Digitized by Google

serait certainement, ni dans le prix d'achat, ni dans la consommation du charbon, une différence proportionnelle au nombre de chevaux, parce que les machines coûtent d'autant plus cher et consomment d'autant plus de charbon par cheval qu'elles sont plus petites.

Le service de distribution est aussi plus compliqué et soumis à plus de chances d'accident. Qu'une grande dépense d'eau, par suite d'incendie ou de toute autre cause, se fasse dans le quartier haut, il pourra manquer d'eau, tandis qu'il n'en manquerait pas s'il n'y avait qu'un service. L'excès de pression qui résulte du service unique dans les conduites du quartier bas est un avantage qui a une certaine valeur. En cas d'incendie, on peut faire jaillir l'eau directement sur les toits; on peut s'en servir pour fontaines monumentales, jets d'eau, etc. Enfin, nous ne saurions trop insister sur le plus grand développement de conduite qu'exige toujours la division des services, développement qui dépend de la position en plan des divers étages; si l'un d'eux se compose de parties détachées, éloignées les unes des autres, il est évident que les conduites qui les desserviront seront obligées de parcourir inutilement, et sur de grandes longueurs, les terrains de l'autre service, et qu'il en pourra résulter de grandes dépenses dans l'établissement du réseau des conduites.

Nous ne voulons pas, par ces considérations, exclure la division des services; il est des cas, par exemple, où elle est très-économique et parfaitement motivée, c'est quand il existe un grand nombre d'orifices bas et un très-petit d'orifices très-hauts par rapport aux premiers. Si l'on avait, par exemple, 1000° à élever à 30^{m} et 100° à 80^{m}, il est évident qu'à moins de circonstances exceptionnelles, il ne faudrait pas élever les 1100° à 80^{m}. Il arrive quelquefois qu'on peut se procurer de l'eau facilement, par la simple dérivation de certaines sources, mais qu'elles ne peuvent alimenter que le tiers ou la moitié de la ville, il est clair alors qu'il y aura naturellement deux étages de distribution. En un mot, nous ne voulons qu'appeler l'attention des ingénieurs sur le système de la division des services, parce que ses avantages sautent aux yeux, et que ses inconvénients ne se révèlent que par une étude approfondie; de sorte que, faute d'examen préalable et comparatif, on peut se jeter dans de très-mauvaises combinaisons. Du reste, il n'y a rien de particulier à dire sur ce système, qu'on peut considérer comme une réunion de plusieurs distributions simples. Ce que nous avons dit et ce que nous dirons de ce dernier mode s'applique donc

Digitized by Google

à la distribution multiple. Nous ajouterons seulement un mot au sujet de ce qu'on pourrait appeler la distribution en cascade. Lorsqu'il y a de très-grandes différences de niveau entre les orifices, les eaux qui ont servi une première fois à la décoration de l'étage supérieur peuvent servir une seconde fois à l'usage ou à la décoration de l'étage inférieur. Dans ce cas, toutes les eaux sont élevées à la hauteur maximum, la distribution seule est divisée. Les trop pleins des fontaines monumentales, qui se trouvent à l'étage supérieur, doivent être sensiblement au niveau du réservoir de l'étage inférieur, c'est-à-dire que les bassins de ces fontaines font, pour ainsi dire, partie de ce réservoir, et pourraient le remplacer s'ils étaient d'une capacité suffisante. Ce mode de distribution, en permettant, comme le précédent, de placer une partie du réservoir général en déblais, ce qui est toujours très-économique, ainsi qu'on le verra dans le chapitre suivant, peut convenir à certaines circonstances locales; celles, par exemple, où la construction d'un réservoir supérieur d'une capacité suffisante présenterait de grandes difficultés. On peut alors avoir dans l'étage supérieur, sans autre dépense que celle de leur construction, des fontaines monumentales d'un fort bel effet, car on peut leur faire débiter pendant quelques heures toute la consommation de l'étage inférieur.

133. Dès qu'on a pris un parti sur le système de distribution qui convient aux circonstances locales, on doit tracer les lignes principales du réseau des conduites. Suivant nous, la manière la plus économique de le faire est de se conformer aux principes que nous avons exposés au commencement de ce chapitre, et qu'on peut résumer ainsi : Pour le cas où la distribution doit être uniforme sur la surface à alimenter, on doit la diviser en deux par une conduite principale, puis en quatre par une conduite secondaire perpendiculaire à celle-ci; puis en huit par des conduites perpendiculaires aux quatre premières, en ayant soin de limiter les bassins d'alimentation aux bissectrices des angles des conduites principales, etc., etc. Dans la pratique, le terrain à desservir ne présentant jamais cette uniformité de distribution que suppose le tracé précédent, les conduites devront se rapprocher des centres de consommation; on aura d'ailleurs égard à la largeur, à la direction plus ou moins contournée et au nivellement des voies publiques sous le sol desquelles les conduites devront être placées. Ces circonstances locales restreignant les solutions possibles à un très-petit nombre, on pourra presque toujours déterminer la meilleure sans

Digitized by Google

aucun calcul; que si on hésitait entre plusieurs, c'est que les motifs de préférence n'auraient pas une grande valeur : il serait d'ailleurs facile de l'apprécier en se rendant compte de la dépense que doit occasionner le réseau des conduites; dépense qui repose sur le calcul des diamètres que nous allons exposer au point de vue pratique, parce que, en considérant la question à ce point de vue, on arrive à simplifier l'usage des formules théoriques que nous avons présentées dans les chapitres précédents.

134. Si le tracé du réseau de la distribution se trouve en grande partie déterminé par la direction des voies de communication, le diamètre des conduites l'est aussi jusqu'à un certain point par la condition de n'admettre dans la distribution qu'une série limitée de diamètres. C'est là une observation importante à faire et qui peut influer sur le tracé même des conduites. Motivons d'abord la limitation de la série des diamètres.

Pour l'entretien d'une distribution d'eau, il est nécessaire d'avoir en magasin un certain nombre de pièces de rechange, et qui pour chaque diamètre sont assez nombreuses. Ainsi dans la conduite même il y a toujours quatre espèces de tuyaux : 1° le tuyau ordinaire à cordon et emboîtement; 2° le tuyau à bride et cordon; 3° le tuyau à bride et emboîtement; 4° le tuyau à double bride. A ces tuyaux s'adaptent des robinets d'arrêt d'une ouverture correspondante; pour les réparer, il faut des manchons qui embrassent le diamètre extérieur; il y a aussi, correspondant à chaque diamètre, les tuyaux courbes, les tuyaux à tubulures, les colliers en fer pour prise d'eau. L'entretien d'une distribution d'eau est donc d'autant plus facile qu'elle comprend un nombre de diamètres plus restreint. Ajoutons que les fondeurs chargés de la fourniture des tuyaux, soit pour l'exécution, soit pour l'entretien, n'étant pas obligés d'avoir un grand nombre de modèles, font payer la fonte sensiblement moins cher que si l'on admettait des diamètres de toute dimension. C'est par ce motif que les diamètres de la distribution de Paris, d'abord échelonnés de pouce en pouce, le sont encore aujourd'hui; en faisant les nouveaux tuyaux d'après des divisions décimales, on aurait été obligé de doubler les approvisionnements pour l'entretien. Mais les mêmes motifs n'existant pas pour une distribution nouvelle, on fera bien de suivre, pour l'échelle des diamètres, les subdivisions du système métrique, comme l'a fait, à Toulouse, M. d'Aubuisson; mais on devra, selon nous, dans le choix des degrés de l'échelle, procéder plus largement que ne l'a fait cet ingénieur, qui s'exprime ainsi à cet égard :

Digitized by Google

« J'admettais sans fraction le nombre de centimètres qui était au-dessus « du chiffre donné par le calcul : quelquefois même je passais au nombre « de centimètres encore supérieur d'une unité, afin de ne pas trop mul- « tiplier le nombre de tuyaux à fondre ; enfin je ne suis pas descendu au- « dessous de 0,05, quelque petite que fût la quantité d'eau à conduire. »

De ce système, il est résulté pour la distribution de Toulouse :

En 0,27 de diamètre	. . . . .	1210 de longueur.
0,19 —	. . . . .	834
0,16 —	. . . . .	574
0,12 —	. . . . .	1313
0,10 —	. . . . .	381
0,09 —	. . . . .	271
0,08 —	. . . . .	1794
0,07 —	. . . . .	1247
0,05 —	. . . . .	8336
TOTAL.	. . . . .	15960m

A l'inspection de ce tableau, on reconnaît d'abord qu'il eût été très-facile et très-peu dispendieux de faire disparaître de la distribution les diamètres 0m,09, 0m,10 et 0m,16, ce qui eût diminué d'un tiers le nombre des modèles à exécuter ; ensuite lorsqu'on fait une distribution, il ne faut pas s'occuper seulement des besoins du présent, mais encore de ceux de l'avenir. En prenant des diamètres échelonnés au hasard, tels que les donne le calcul, on pourrait plus tard être gêné par la nécessité de placer les nouveaux diamètres dans une série dont les intervalles seraient irréguliers, ce qui pourrait trop les multiplier. Ainsi, nous croyons qu'on pourrait adopter la série suivante :

Diamètres.	Puissance du débit.
0,06	88
0,08	187
0,10	316
0,12	499
0,16	1024
0,20	1789
0,25	3120
0,30	4950
0,35	6750
0,40	10100
. . .	. . .

Digitized by Google

Nous écrivons en regard de chaque diamètre la puissance de son débit exprimée par des nombres proportionnels à $\sqrt{D^5}$, qui mettent de nouveau en évidence la rapidité de son accroissement, et l'avantage énorme que procure une légère augmentation du diamètre; ainsi avec un tiers en sus on transporte plus du double.

On ne fait guère en fonte de tuyaux plus petits que $0^m,04$, ils seraient trop sujets à s'obstruer par l'oxydation de la paroi, par les concrétions, etc. Les tuyaux de petit diamètre sont plus fragiles que les autres, ils coûtent relativement plus cher. Par tous ces motifs, on ne place plus dans le service de Paris des tuyaux au-dessous de $0^m,081$. Nous ne croyons pas que, pour une distribution ordinaire, il y ait avantage à descendre au-dessous de $0^m,06$. Les divers diamètres étant ainsi échelonnés, quelles que soient les additions ultérieures, et il y en a toujours, on ne sera jamais obligé de sortir de la série primitive. Du reste, rien n'empêchera, au début de la distribution, de faire monter d'un degré les diamètres qui ne devraient être employés que sur de très-faibles longueurs, et d'attendre, pour les y introduire, qu'on en ait l'emploi sur des étendues considérables.

Il en est de ces derniers principes comme de tous ceux dont nous parlons dans ce chapitre; les circonstances peuvent parfaitement autoriser à y déroger. Ainsi, si le calcul indiquait que, pour amener l'eau dans une ville, il faut une conduite de $0^m,295$, et qu'on craignît que la conduite de $0^m,30$ fût insuffisante, on pourrait évidemment, sans recourir à la conduite de $0^m,35$, qui serait trop dispendieuse, en poser une de $0^m,32$ ou $0^m,33$.

135. Pour déterminer maintenant le diamètre de chaque conduite, il suffit d'appliquer les formules que nous avons exposées dans les chapitres précédents. Nous donnons, dans le dernier chapitre de cet ouvrage, de nombreux exemples de tous les calculs qu'on peut avoir à faire à ce sujet, calculs tellement simples, que la distribution la plus compliquée n'exigera jamais que quelques heures de ce fastidieux travail. Ces formules supposent qu'on connaît la longueur, la charge et le débit maximum des conduites; la longueur est donnée par le tracé dont nous venons d'exposer les règles, la charge par un nivellement qui fera connaître la hauteur des orifices les plus élevés à desservir; enfin le débit maximum résulte de la consommation qui doit avoir lieu sur chaque conduite. Cette évaluation ne peut être faite qu'approximativement. Voici quelques considérations qui peuvent servir de base à ces calculs.

Digitized by Google

Faisons observer d'abord que les tuyaux publics n'aboutissent pas directement aux orifices à servir. Chacun d'eux se trouve ordinairement à l'extrémité d'un branchement que les nécessités de la pose obligent de faire d'un plus petit diamètre. Pour les concessions particulières, ces branchements sont à Paris de $0^m,027$; or, pour qu'un robinet fasse un service commode, il faut qu'il débite 1 litre ($0^{mc},001$) par seconde. Il résulte de là dans le branchement particulier une assez forte perte de charge. On a en effet,

$$\frac{H}{L}=\left(\frac{Q}{20}\right)^2\left(\frac{1}{D^5}\right)=0,000\,000\,0025\times 70\,400\,000=0,176;$$

ces branchements ayant toujours au moins 10^m de longueur, on voit que le niveau de ces orifices peut être considéré comme relevé de 2^m. Dans l'équation qui sert à déterminer les diamètres, on fera donc bien de prendre pour H la quantité réelle diminuée de 2^m. Cette observation n'a d'importance que dans le cas où l'on manquerait de charge; car, dans les équations qui déterminent le diamètre :

pour le débit à l'extrémité, $D^5 = \frac{L}{H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2$,

pour le débit en route, $D^5=\frac{1}{3}\frac{L}{H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2$,

une diminution de 2^m sur la valeur de H n'influe sur celle de D qu'autant que H est petit.

L'élément le plus difficile à évaluer pour la détermination du diamètre d'une conduite qui alimente des concessions particulières, c'est son débit. Les services publics sont en général réguliers, ou du moins bien définis; cependant les fontaines à boutons, qui ne coulent pas d'une manière continue, rentrent tout à fait dans la classe des orifices particuliers, quant à l'évaluation de leur débit.

Le débit d'un orifice public, muni d'une bouche d'incendie, doit pouvoir s'élever à 2 lit. par seconde. Nous avons déjà fait connaître qu'à Paris le débit normal des bornes-fontaines pour lavage de rues est de $1^l,78$ (8°), et presque toutes sont modérées par un régulateur. Or, un débit de 2 lit. par seconde produirait une perte de charge de $0^m,70$ par mètre dans un branchement qui n'aurait que $0^m,027$ de diamètre. On devra donc, sur les points les plus élevés de la distribution, c'est-à-dire sur ceux où la charge pourrait être insuffisante, prendre pour ces orifices des branchements d'un plus fort diamètre.

Nous l'avons déjà dit dans les chapitres précédents, le diamètre des

Digitized by Google

conduites ne se détermine pas par le débit moyen, mais par le débit maximum. Or, pour les orifices qui ne s'ouvrent qu'accidentellement, comme les fontaines à boutons ou les robinets particuliers, le débit maximum diffère d'autant plus du débit moyen qu'ils sont moins nombreux. Supposons, par exemple, qu'une conduite doive alimenter vingt robinets devant débiter chacun $1^{m.c.},00$ par jour, ou plutôt en douze heures, ce serait se tromper beaucoup que de calculer le débit Q comme étant égal à $\frac{20}{43400} = 0^{m.c.},00047$, car ce débit ne représente qu'un demi-litre par seconde; volume insuffisant, même pour un seul robinet; et si l'on en ouvrait trois ou quatre à la fois, les derniers pourraient bien n'être pas servis. Or, si l'on réfléchit aux usages de l'eau, on reconnaîtra qu'à cause de l'uniformité de certaines habitudes de la vie domestique, la simultanéité de l'ouverture d'un certain nombre de robinets est un fait très-probable. De là nous tirons plusieurs conséquences relativement à l'évaluation du débit des conduites :

1° Le débit ne doit jamais être supposé au-dessous de 1 litre par seconde pour une conduite quelconque, puisqu'elle ne peut alimenter moins d'un robinet;

2° Que, quand une conduite doit desservir plusieurs robinets, il faut supposer qu'il y en aura d'ouverts simultanément une fraction de ce nombre d'autant plus grande qu'il sera plus petit. Ainsi, il est évident que, pour une conduite qui alimente dix robinets, la chance d'en avoir trois d'ouverts simultanément est beaucoup plus probable que celle d'en avoir six, pour une de vingt robinets. En un mot, le rapport du débit moyen au débit maximum est d'autant plus petit que le débit moyen est lui-même plus petit.

Cette nouvelle considération exclut des distributions d'eau les conduites d'un trop petit diamètre et dispense, par conséquent, de toute espèce de calcul pour les petits branchements qui, immédiatement et à première vue, d'après la connaissance des localités, peuvent être ramenés au diamètre minimum. Quand, dans une distribution d'eau, on a pris le parti de ne placer pour diamètre minimum que $0^{m},06$, par exemple, il est évidemment inutile de chercher si ce diamètre ne pourrait avoir que $0^{m},04$ ou $0^{m},03$.

Pour les conduites d'un diamètre supérieur, cette dimension devra être calculée sur le débit maximum augmenté dans une certaine proportion qu'on ne saurait évidemment préciser autrement que nous venons de le faire. Cependant les diamètres de quelques-unes de ces conduites pourront

Digitized by Google

encore être déterminés sans calcul par d'autres considérations. Ainsi, telle conduite dont le service en route est peu important pourrait n'avoir qu'un diamètre de $0^m,12$; mais il peut se faire que, par sa position dans la distribution, elle puisse être appelée à remplacer ou à prolonger une conduite de $0^m,20$ qui doit alimenter un réservoir, et qu'on lui donne de suite ce diamètre; ce qui dispensera de calculer celui qui serait suffisant pour son débit ordinaire, parce qu'on saura, *à priori*, que le diamètre adopté remplit évidemment cette condition. Il en est de même de certaines conduites de jonction, destinées à établir la solidarité soit entre des réservoirs, soit entre des conduites principales.

En effet, si, pour la commodité du calcul, on peut supposer que chaque conduite fait un service isolé dans un sens déterminé, il faut se garder en application de suivre ce système. L'ensemble des conduites doit former un réseau général qui permette à l'eau de circuler dans tous les sens. De la liaison de toutes les parties de ce réseau résulte une puissance d'alimentation beaucoup plus considérable; les conduites forment alors comme une nappe souterraine, d'où l'eau peut jaillir en chaque point à la plus grande hauteur possible, parce qu'elle y arrive par plusieurs directions à la fois et dans la proportion qui donne le moins de perte de charge. Enfin, en cas de réparation, la suspension de service a toujours peu de durée. Il va sans dire que ce principe, comme tous les autres, est soumis aux restrictions qu'impose le surcroît de dépense.

136. Qu'on nous permette de dire un mot d'un procédé graphique qui nous paraît faciliter considérablement le travail de la détermination des diamètres et en représenter assez fidèlement le résultat. Il consiste à donner aux conduites, sur le plan de la distribution, des largeurs proportionnelles à leur puissance de débit $\sqrt{D^5}$. Cette méthode a l'avantage de parler parfaitement aux yeux, de faire reconnaître immédiatement les lacunes, les erreurs que l'on aurait pu commettre, et surtout de mettre en évidence le rôle des conduites; car, à moins de prendre pour les conduites maîtresses d'énormes dimensions, celles des branchements secondaires se réduiront à des filets, pour lesquels même on sera obligé de renoncer à ce procédé. On voit alors immédiatement les résultats d'une interruption de service dans certaines parties, et jusqu'à quel point le reste des conduites pourra y suppléer.

Il est bon aussi d'avoir le nivellement des conduites principales, sur le-

Digitized by Google

quel on pourra indiquer, d'une manière exacte, le niveau de la conduite par rapport au sol, et approximativement la ligne de charge dans les circonstances particulières du débit. Ces indications feront reconnaître si la conduite est dans de bonnes conditions pour la distribution; si des pentes et contre-pentes inutiles peuvent être facilement supprimées par des approfondissements de tranchée; si la ligne de charge ne descend nulle part au-dessous du sol, ce qui empêcherait de reconnaître les fuites. Il y a des positions de conduite et des nivellements de terrain tels qu'on voit *à priori* qu'il en est ainsi, et où, par conséquent, on peut se dispenser de ce travail; mais dans d'autres circonstances, il est presque indispensable, si on ne veut pas s'exposer à de graves mécomptes.

On remarquera que lorsqu'un terrain est couvert du réseau de conduites qui doit distribuer l'eau dans toutes ses parties, on peut facilement changer l'origine de la distribution, c'est-à-dire recourir à un autre système d'alimentation, sans qu'il y ait beaucoup de dépenses à faire. En effet, cette dépense ne saurait être plus grande que celle de la conduite nécessaire pour mener l'eau de la seconde origine à la première, et même presque toujours le tuyau destiné à ce service n'aurait pas besoin d'avoir un diamètre bien considérable, attendu qu'un ou plusieurs tuyaux de l'ancienne distribution pourraient servir à cette destination. Ainsi, la canalisation ne dépend que fort peu du système et de l'origine de l'alimentation. Nous croyons cette observation d'autant plus utile, qu'il y a des villes qui ajournent leurs travaux de distribution jusqu'à ce qu'elles aient les ressources nécessaires pour se procurer les meilleurs moyens d'alimentation, parce qu'elles craignent que toutes les dépenses faites antérieurement ne soient perdues, crainte qui, selon nous, repose sur une erreur. Paris voudrait aujourd'hui renoncer aux eaux de l'Ourcq, pour prendre des eaux de Seine dans le centre, en amont ou en aval, que la canalisation des eaux de l'Ourcq trouverait un emploi utile dans ce nouveau système. L'observation la plus essentielle sous ce rapport, c'est que rien ne se prête à des additions ou à des modifications comme un réseau de conduites. Si, dès l'origine, il est avantageux de prévoir les besoins futurs, rien n'oblige à exécuter immédiatement les travaux nécessaires pour les satisfaire; il suffit de poser les conduites qui traversent les localités qu'on veut desservir immédiatement, en ménageant des tubulures pour les branchements dont on ajourne l'exécution.

Digitized by Google

137. Le plan figuratif dont nous avons parlé plus haut doit être complété par la détermination de l'emplacement des robinets d'arrêts et de décharge, dont il peut servir lui-même à fixer la position la plus avantageuse. La plupart des travaux à faire sur les conduites, réparations, branchements, etc., exigent qu'elles soient mises complétement à sec; il faut donc pouvoir arrêter l'eau qui viendrait dans la portion de conduite à réparer, et faire écouler celle qui s'y trouve contenue. Il est, par conséquent, indispensable d'avoir au moins un robinet d'arrêt à l'origine de la distribution, et des robinets de décharge dans tous les points bas des conduites. Mais si l'on se bornait à établir les robinets dont nous venons de parler, la distribution tout entière serait interrompue à chaque travail, et on perdrait en outre une grande masse d'eau; en ajoutant de distance en distance des robinets d'arrêt, on pourra isoler une partie du réseau, le vider, et n'interrompre le service que sur une très-petite portion de la distribution. Puisque chaque point bas doit être muni d'un robinet de décharge, et que, d'un autre côté, il faut qu'il y ait un de ces robinets entre deux robinets d'arrêt, on voit que ces derniers devront, en général, être placés sur les sommets. Si une conduite suivait une pente uniforme sur une grande étendue, on pourrait multiplier les robinets d'arrêt de manière à en avoir un tous les 7 ou 800^{m}, mais alors il faudrait placer un robinet de décharge immédiatement à l'amont du robinet d'aval. Pour que les conduites secondaires ne souffrent pas de l'interruption de service de la conduite principale sur laquelle elles sont branchées, elles doivent être munies à leur origine d'un robinet d'arrêt, et même, selon leur importance, il est utile d'en placer sur leur parcours ainsi que des robinets de décharge, le tout disposé comme sur la conduite principale. En un mot, pour la commodité et la sûreté de la distribution, ces appareils ne sauraient être trop nombreux; ce n'est que par des raisons d'économie qu'on doit en restreindre le nombre. Or, on peut concilier facilement ces deux intérêts à l'origine de la distribution, en ne plaçant que les robinets d'arrêt les plus essentiels, et en remplaçant les autres par des tuyaux à bride de même longueur. Quand, plus tard, l'expérience démontre la nécessité ou l'utilité du robinet d'arrêt, son établissement ne coûte guère plus que si on l'avait placé dès l'origine.

Les robinets de décharge, beaucoup moins dispendieux que les robinets d'arrêt, puisque ces derniers doivent avoir à peu près le diamètre des con-

Digitized by Google

duites, exigent quelquefois l'établissement d'un petit branchement pour conduire les eaux, soit à un point plus bas, soit dans un égout, soit dans un puits, soit dans un puisard perreyé, suivant le volume d'eau à écouler. Leur fonction essentielle étant de vider une portion de conduite, il est facile de calculer leur diamètre, de manière à satisfaire à cette condition dans un temps donné. Une erreur sous ce rapport ne saurait avoir d'importance. Si le robinet de décharge n'est pas placé immédiatement, il suffit d'avoir préparé la tubulure destinée à le recevoir, pour que cette omission puisse se réparer quand on le jugera opportun.

Digitized by Google

CHAPITRE XIII.

EXÉCUTION ET ENTRETIEN DES TRAVAUX D'UNE DISTRIBUTION D'EAU.

138. Dans les chapitres précédents, nous avons cherché à exposer le système suivant lequel les travaux d'une distribution d'eau nous paraissent devoir être projetés pour assurer le service dans les meilleures conditions possibles. Dans ce but, nous avons dû nous appuyer principalement sur des considérations mécaniques, que d'autres pourront sans doute présenter d'une manière plus heureuse et plus complète, mais auxquelles le temps n'ôtera rien de leur importance dans la question. Il n'en est pas de même de ce qui concerne l'exécution des travaux. On peut varier indéfiniment le mode de construction des réservoirs ; on a fait des tuyaux en maçonnerie, en pierres, en poterie, en plomb, en verre, en fonte, en tôle plombée, etc., etc.; la manière de faire ces tuyaux, de les assembler, d'y opérer des branchements, a changé et changera nécessairement encore. Nous ne pouvons donc, à cet égard, que nous borner à exposer l'état actuel de cette partie technique de la question, en restreignant même ces notions pratiques à celles qui nous paraissent utiles à l'ingénieur.

139. Presque toutes les distributions ont besoin de réservoirs. Nous avons, dans les chapitres précédents, expliqué le rôle que jouent ces ouvrages et cherché à déterminer la position la plus avantageuse qu'il convient de leur donner sous le rapport de la sûreté du service. Nous ne nous occuperons ici que de leur construction et des circonstances qui peuvent influer sur les dépenses qu'elle exige.

On peut distinguer deux espèces de réservoirs, ceux dont la ligne d'eau est au-dessous du niveau du terrain, et ceux pour lesquels elle est au-dessus.

La première espèce est, sans contredit, la plus économique ; il suffit de déblayer le terrain consacré au réservoir, et de recouvrir le fond et les parois d'une maçonnerie hydraulique, destinée à empêcher la végétation et les filtrations, et à faciliter l'opération du nettoiement. La végétation des plantes aquatiques, leur décomposition et les insectes qu'elles attirent, provoquent la corruption de l'eau ; les filtrations auraient pour ré-

Digitized by Google

sultat, d'abord d'en perdre une partie, et ensuite d'occasionner, dans certains cas, des dégâts dans les terrains inférieurs; enfin, le nettoiement ne peut se faire que sur une surface dure et unie; on sera donc presque toujours obligé d'avoir recours à un revêtement maçonné. Cependant lorsqu'il s'agit de grandes masses d'eau, retenues dans les parties supérieures des vallées, ces précautions peuvent être inutiles; mais ce ne sont pas là des réservoirs ordinaires de distribution, du genre de ceux que nous considérons. Dans le revêtement en maçonnerie, il faut distinguer le fond et l'enceinte; celui du fond n'aura besoin en général que d'une très-faible épaisseur, c'est plutôt un enduit qu'une maçonnerie. Après avoir nivelé le terrain, s'il est très-perméable, on peut le recouvrir d'un corroi de glaise battue avec du gravier, puis y étendre une couche de béton de $0^m,15$ à $0^m,20$ lissée à sa partie supérieure. Comme il est toujours facile de revenir sur le radier par voie d'addition, les accidents qui arriveraient dans cette partie de la construction ne sauraient avoir de conséquences graves pour sa solidité, nous ne pensons donc pas qu'il y ait lieu d'en exagérer l'épaisseur. Quant à l'enceinte du réservoir, lorsqu'on dispose de terrains assez étendus, on peut se contenter de talus revêtus d'une couche semblable à celle du fond ou de perrés maçonnés. Mais si l'espace manque, on peut établir des murs verticaux ou légèrement inclinés, en leur donnant l'épaisseur nécessaire pour soutenir la poussée des terres, le tiers environ de la hauteur. On augmente considérablement l'étanchéité des parois maçonnées, en les recouvrant d'un enduit en ciment hydraulique. Peut-être, avant de l'appliquer, fera-t-on bien d'attendre que la nécessité s'en fasse sentir; ce qui donnerait aux maçonneries le temps de s'asseoir.

140. Nous croyons inutile d'en dire davantage sur les réservoirs en déblais, d'autant plus que nous aurons occasion d'y revenir plus loin en parlant des travaux communs à tous les réservoirs, tels que bondes, décharges... Nous passerons immédiatement aux réservoirs dont le niveau est au-dessus du sol. Si ce niveau ne le dépasse que de 4 à 5 mètres, on les construit ordinairement en maçonnerie. Comme les précédents, ils se composent d'un radier et d'une enceinte; mais ces parties doivent présenter une bien plus grande résistance. Quand on creuse le sol de 4 à 5 mètres et qu'on y établit un réservoir, le sol nouveau n'a en général à supporter qu'une pression équivalente à celle qu'il supportait précédemment; de plus, il est ordinairement plus comprimé et plus résistant que celui de la surface. On a

Digitized by Google

donc rarement de précautions spéciales à prendre. Mais quand le radier doit être au niveau du sol, l'établissement d'un réservoir change complétement sa condition, et on peut d'autant plus craindre une filtration que la surface du sol, altérée par les intempéries atmosphériques ou par des travaux antérieurs, n'a pas, en général, une grande résistance. On est donc dans des conditions beaucoup plus mauvaises que précédemment, et qui, par suite, exigent beaucoup plus de précautions. Si le terrain est solide, on pourra se borner à augmenter l'épaisseur de la couche de béton, en la portant à $0^m,30$, $0^m,40$, ou $0^m,50$, suivant la hauteur d'eau; si le terrain est mobile, s'il a été remué, on sera peut-être obligé de fonder le radier sur des piliers, descendus jusqu'à une couche solide. Ces piliers, reliés entre eux par deux rangs de voûtes construites sur le terrain naturel, dressé de manière à former cintre, porteront toute la charge. Ce système de construction a été mis en pratique avec succès sous la direction de M. Mary. Ces précautions ont pour but, non pas seulement de prévenir une fissure ou un tassement du radier, accidents qui se répareraient facilement, mais les conséquences qui pourraient en résulter pour les murs d'enceinte. En effet, une fuite qui aurait lieu dans le radier, en détrempant le sous-sol, en faisant naître des pressions sur certains points des fondations de ces murs, peut amener un mouvement, un déversement, une disjonction dans leur partie extérieure. Or, la réparation de pareilles avaries, qui seraient à peu près sans inconvénient pour des murs ordinaires, devient très-dispendieuse et très-difficile pour des murs de réservoir; elle peut même conduire à une reconstruction, si les murs sont sortis de leur aplomb; car, lorsque l'eau s'est fait jour à travers les maçonneries, le courant qui s'établit tend à augmenter sans cesse les dégradations. On ne doit donc rien négliger pour donner aux murs d'enceinte des réservoirs toute la solidité nécessaire; l'épaisseur moyenne doit être à peu près la moitié de la hauteur d'eau à soutenir; cela dépend, au reste, de la nature des matériaux qu'on emploie et du profil qu'on adopte. On peut obtenir quelque réduction sur cette épaisseur en évidant l'intérieur des murs, ce qui leur donne une plus grande stabilité. Mais, à moins que leur épaisseur ne doive être très-considérable, il est rare que cette disposition puisse procurer une grande économie; le surcroît de main-d'œuvre et de parement qui en résulte compense la diminution du cube de la maçonnerie; cependant, en donnant aux fuites ou suintements, qui peuvent se manifester, une issue très-voisine du parement où ils pren-

Digitized by Google

nent leur origine, elle présente l'avantage de fournir un moyen facile de les réparer et d'empêcher les filtrations de se propager aussi loin dans l'épaisseur des maçonneries. On doit donner au radier de ces galeries une légère pente qui le fasse aboutir soit à un ruisseau, soit à un égout extérieur dans lequel les eaux puissent s'écouler. Les murs évidés conviennent surtout au cas où le réservoir est adossé à des constructions ou limité par des propriétés qu'on veut mettre à l'abri des infiltrations.

Les murs d'enceinte constituent, comme on le voit, la grande dépense des réservoirs ; il importe donc d'adopter, autant que le permet le terrain dont on dispose, des formes qui donnent beaucoup de surface avec le moindre développement. Nous dirons cependant que pour de la maçonnerie, le cercle convient peu. Car il résulte de cette forme une sujétion coûteuse dans l'appareil des matériaux du réservoir et une tendance à leur disjonction. Ce que nous voulons dire, c'est qu'on doit éviter les angles multipliés, surtout les angles rentrants, les formes allongées, etc., et, autant que possible, se rapprocher de la forme carrée. Cependant, lorsqu'on divise le réservoir en deux, ce qui est presque une nécessité pour les grands réservoirs, ainsi que nous l'indiquerons tout à l'heure, il en résulte que, si l'on veut avoir le minimum de dépense, la dimension perpendiculaire à la cloison doit être plus grande que l'autre (dans le rapport de 3 à 2).

C'est peut-être ici le lieu de parler d'une amélioration considérée parfois comme importante pour les réservoirs, et qui peut influer sur la forme à leur donner, c'est la couverture. Comme nous l'avons déjà dit, l'eau exposée aux ardeurs du soleil se corrompt plus facilement; dans tous les cas elle s'échauffe, ce qui est un inconvénient pour beaucoup d'usages; de plus, les variations de température dans les maçonneries et dans les conduites qui y aboutissent, produisent des dilatations et des retraits d'où résultent souvent des fissures. Il y a donc des avantages incontestables à couvrir le réservoir d'une distribution, à la condition toutefois de ménager au-dessus de la surface un aérage suffisant. Les petits réservoirs peuvent être couverts par des toits ou des combles ordinaires ; toutefois, ce système de couverture n'atteint qu'imparfaitement son but, qui est de mettre la surface de l'eau à l'abri des variations de température ; il sera donc presque toujours préférable d'avoir recours à des voûtes en maçonnerie. Sans doute ces voûtes, qui portent nécessairement sur les murs d'enceinte, tendent à les écarter, comme le fait déjà la poussée de l'eau ; mais c'est là une

Digitized by Google

question d'épaisseur de maçonnerie facile à résoudre, et, en se rendant compte des dépenses, on trouvera presque toujours qu'il y a avantage à prendre ces murs pour point d'appui, au lieu d'établir des piliers intermédiaires dans l'intérieur des bassins. En effet, comme nous l'avons déjà dit, ce sont les parements qui coûtent le plus dans les maçonneries ; en augmentant l'épaisseur des murs indispensables, on n'élève que fort peu la dépense ; établir des piliers intermédiaires, c'est augmenter la surface des parements en même temps que le cube de la maçonnerie. Ces piliers diminuent la capacité du réservoir, multiplient la surface à nettoyer ; enfin, les petites voûtes qu'ils portent, manquant de hauteur, privent d'air la surface supérieure du réservoir. Aussi n'avons-nous pas hésité, pour des projets de nouveaux réservoirs à établir, à proposer des voûtes s'appuyant sur des murs d'enceinte, ainsi que le représente la fig. 95. Ces voûtes en briques et ciment peuvent être très-légères, peu dispendieuses (à Paris, 18 fr. le mètre carré), et d'une très-grande solidité ; on pourrait au besoin les charger de terre ou de sable, pourvu que les murs d'enceinte pussent résister à la poussée. Disons cependant que la couverture des réservoirs n'est pas indispensable, que les plus grands réservoirs de Paris n'en ont pas, et que, toute désirable que soit cette amélioration, ce n'est peut-être pas celle dont le besoin se fait le plus vivement sentir. Aussi, dans le cas où l'on serait limité par le chiffre des dépenses, c'est un travail qu'on pourrait ajourner sans grand inconvénient. Ce serait cependant une utile précaution que de donner aux murs d'enceinte une épaisseur suffisante pour pouvoir exécuter plus tard la voûte qui doit couvrir le réservoir.

Les réservoirs que nous venons de considérer par la quantité de maçonnerie qu'ils exigent, par les soins avec lesquels elle doit être faite, sont beaucoup plus dispendieux que les précédents. C'est ce qu'on reconnaîtra facilement, pour peu qu'on soit habitué aux constructions. Ainsi, dans ce moment, l'administration est saisie de plusieurs projets de réservoir émanant des ingénieurs du service municipal, et dont les dépenses et les capacités sont dans les proportions suivantes :

Réservoir en déblais dans la butte Chaumont, capacité 70,000^{mc}, dépense en travaux 200,000 fr., soit 3 fr. par mètre cube d'eau.

Réservoir moitié en déblais, moitié en remblais, dans l'abattoir Montmartre, capacité 8,000^{m}, dépense 200,000 fr., soit 20 fr. par mètre cube d'eau.

Réservoir en remblais à la barrière des Amandiers, fig. 95 et 95 *bis*,

Digitized by Google

capacité 5,500^{m}, dépense 200,000 francs, soit 38 francs par mètre cube.

Sans doute, suivant les lieux, cette proportion pourra varier ; mais il faudrait des circonstances exceptionnelles pour qu'elle ne fût pas considérable. Il n'y aurait donc jamais à hésiter dans le choix du système à adopter, si la question était aussi simple que nous venons de la présenter. Mais, dans la pratique, plusieurs circonstances dont on doit tenir compte viennent la compliquer, nous les examinerons tout à l'heure, lorsque nous aurons fait connaître le dernier système de réservoir; nous voulons parler de celui dont le fond, ou radier, est au-dessus du niveau du terrain.

141. Le niveau supérieur des réservoirs est une conséquence de celui des orifices les plus élevés à desservir, on n'est donc pas maître de le fixer arbitrairement : c'est une donnée de la question. Ainsi dans une ville plate, ou qui n'est dominée par aucune hauteur environnante, on est en général obligé d'établir des réservoirs très-élevés au-dessus du sol. Ces réservoirs peuvent être construits en maçonnerie comme les précédents, mais la dépense qu'ils exigent croît rapidement avec la hauteur à laquelle ils doivent s'élever. Si l'on admettait, par exemple, que le radier dût toujours reposer sur le sol, il est évident que cette dépense croîtrait comme le carré de la hauteur d'eau, car c'est suivant cette loi que devrait croître la surface du profil du mur d'enceinte. Il est vrai que pour des hauteurs un peu considérables on pourrait faire porter le radier sur des voûtes, et diminuer l'épaisseur du mur d'enceinte en raison de la diminution de la hauteur d'eau soutenue, mais l'établissement de ces voûtes est lui-même un objet d'assez grande dépense, et donne aussi une certaine poussée, qui agit dans le même sens que celle de l'eau. La construction de ces réservoirs demande d'abord une étude assez délicate de la stabilité de la construction, puis des soins tout particuliers dans l'exécution du travail. Il n'en est pas de même lorsqu'on a recours à des réservoirs métalliques placés sur des supports en maçonnerie, qui, n'étant plus soumis qu'à une pression verticale, peuvent être exécutés facilement et sans grande dépense. L'influence de la hauteur n'est pas nulle sans doute, mais elle est peu considérable. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce sujet.

La cuve peut être construite en fonte ou en tôle. Le premier métal offrirait l'avantage d'une conservation plus facile et se prêterait à toute espèce de forme, et en particulier à la forme rectangulaire, qui souvent est commode. Mais le grand nombre de joints que nécessiterait ce

Digitized by Google

système de construction, s'il s'agissait d'une grande capacité, donnerait sans doute lieu à des fuites, dont la réparation occasionnerait de fréquentes interruptions de service. C'est du moins l'inconvénient qui se manifeste dans un réservoir de cette espèce, que nous avons été à même d'examiner. Nous ne parlons pas des réservoirs qui, ne contenant que quelques mètres cubes, peuvent être faits en un petit nombre de pièces; nous ne contestons pas d'ailleurs la possibilité de réussir avec la fonte, nous disons seulement que les tentatives faites jusqu'à présent ne nous ont pas paru heureuses. Il n'en est pas de même de la tôle. En rivant les feuilles entre elles, on obtient une étanchéité parfaite, ainsi que le prouvent les tuyaux qu'on exécute par ce procédé. Reste le danger de l'oxydation, beaucoup plus facile à prévenir pour les réservoirs que, pour les tuyaux, attendu que, les parois étant apparentes, on peut facilement leur donner de temps en temps des couches de peinture ou d'enduit. Cependant. il faut le reconnaître, ces réservoirs ne présentent pas les mêmes garanties de durée que ceux en maçonnerie; si l'entretien était négligé, ils ne tarderaient pas à se trouver hors de service. Cette nécessité de l'entretien oblige à laisser un accès facile à toutes les surfaces de leurs parois. Il ne faut les appuyer ni contre les murs ni sur les planchers, ou du moins les planchers doivent être à claire-voie, de manière que la surface de contact soit aussi petite que possible. C'est ainsi qu'a été construite une cuve d'une capacité de $400^{m.c.}$ dans l'établissement de Chaillot (fig. 96 et 96 *bis*).

Le fond est posé sur un plancher que portent des murs parallèles : ces murs ont une épaisseur de $0^m,70$, leur intervalle est de $2^m,10$, l'équarissage des solives est de $0^m,08$ sur $0^m,24$. Le diamètre de ce réservoir est de $11^m,30$, et sa hauteur de $4^m,00$. La tôle du fond, et celle de la partie inférieure, a $0^m,003$ d'épaisseur ; celle de la partie supérieure n'a que $0^m,002$. Le poids total de cette cuve est de 8,310 kil., et elle n'a coûté que 8,500 fr., non compris le support en maçonnerie et le plancher.

Il est facile de calculer l'épaisseur de la tôle des bords. En effet, en faisant abstraction de la résistance du fond, on peut considérer ce réservoir comme un tuyau de $11^m,30$ de diamètre ; on a ainsi, en appliquant la formule $t = PD$ du chapitre VIII, et en mettant pour P 4000^k, $t = 45^k,20$ pour la tension d'une section près du fond qui aurait un millimètre de hauteur. Comme l'épaisseur de la tôle de la partie inférieure est de $0^m,003$, on

Digitized by Google

a $\frac{43^k,20}{6} = 7^k,53$ pour la tension par millimètre carré. Or, la tôle peut être soumise à une tension beaucoup plus considérable. Il s'en faut bien, du reste, que celle que nous venons de calculer puisse se réaliser, attendu que le calcul précédent suppose la cuve formée de cercles indépendants, tandis qu'ils sont solidaires, et que, la pression étant moins forte dans la partie supérieure, il en résulte que les cercles inférieurs ne sont tendus qu'en vertu d'une pression moyenne; enfin, le fond plat présente nécessairement une grande résistance à l'extension de la partie inférieure du réservoir, et il est probable que si une déchirure venait à s'opérer par suite de l'extension de la fonte, elle se ferait à une certaine hauteur au-dessus du fond. Nous ne pensons donc pas qu'il soit nécessaire de donner des épaisseurs différentes aux feuilles de tôle, lorsque les réservoirs n'ont que 3 ou 4^m de hauteur, ce qui est le cas le plus ordinaire. Le danger réside beaucoup moins dans la rupture de la tôle que dans son oxydation, et, sous ce rapport, il est évident qu'il faut une épaisseur uniforme.

Quoi qu'il en soit, on voit qu'on peut construire, dans ce système, des réservoirs beaucoup plus économiques qu'avec de la maçonnerie, puisque, en ajoutant au prix que nous avons fait connaître plus haut ce qui est relatif aux plancher, support, etc., on n'arrive qu'à 25 fr. par mètre cube. Il est même évident que si ce système présentait la même garantie de durée que la maçonnerie, on devrait l'appliquer toutes les fois que le réservoir ne peut se faire en déblais. Mais, comme nous l'avons dit tout à l'heure, on ne peut mettre la tôle à l'abri de l'oxydation que par un entretien continu et soigné. De plus, certaines parties de la construction, telles que le plancher, ne sont pas susceptibles d'une longue durée, et sont un obstacle à cet entretien. C'est par ce motif qu'ayant à faire construire une cuve de plus grande dimension, nous avons cherché à remplacer le plancher par une calotte sphérique ne portant sur aucun point d'appui intermédiaire, de manière que toute la paroi du réservoir fût accessible [1], et

[1] Les conditions d'équilibre d'une pareille construction sont faciles à établir.
Soient : R le rayon de la calotte (fig. 97);
r celui de la cuve;
ϖ celui d'une section horizontale quelconque;
t la tension par mètre courant de la tôle dans cette section, suivant un plan méridien;
φ l'angle avec la verticale du rayon R correspondant au rayon ϖ;

Digitized by Google

susceptible, par conséquent, de recevoir les travaux d'entretien et de réparation (fig. 98, 98 *bis*, 98 *ter*). C'est, avec plus d'élégance dans la construction, l'avantage que nous avons cherché dans ce système, car l'économie obtenue par la suppression de la charpente et des murs intermédiaires se trouve plus que compensée par la plus grande épaisseur à donner à la tôle du fond. Dans la nouvelle cuve de Chaillot le fond a $0^m,006$ d'épaisseur et les bords $0^m,005$. La dépense se répartit de la manière suivante entre les divers travaux :

Maçonnerie du support, de $7^m,50$ de hauteur.	15,000f
Couverture en zinc.	5,000
Cuve en tôle et couronne en fonte	42,000
Somme à valoir pour bondes de fond et de superficie.	8,000
TOTAL.	70,000f

Si on compare les dépenses de ce réservoir à celles de la cuve précé-

e l'épaisseur de la tôle ;
R' l'effort maximum auquel on veut la soumettre ;
H la hauteur d'eau sur le centre de la calotte ;
h la hauteur d'eau moyenne correspondant au rayon ϖ ;
P poids de l'eau contenue dans la cuve ;
$\rho = 1000^k$, densité de l'eau.

Si l'on cherche la tension correspondante à une section verticale circulaire, on aura évidemment

$$2\pi\varpi t \sin\varphi = \rho\pi\varpi^2 h ;$$

mais

$$\sin\varphi = \frac{\varpi}{R},$$

donc

$$t = 500\,Rh.$$

Or, h est le plus grand possible pour $\varpi = 0$. La tension maximum correspond donc au centre de la cuve, où l'on a $h = H$, et par conséquent,

$$T_0 = 500\,RH,$$

d'où l'on tirerait la valeur de e, puisqu'on doit avoir $eR' = T_0$. Pour le cercle de la cuve qui porte sur son appui circulaire, on a $\sin\varphi = \frac{r}{R}$, et $\rho\pi\varpi^2 h = P$, d'où on tire :

$$T = \frac{PR}{2\pi r^2}.$$

Le fond de la cuve étant attaché à une couronne de fonte, qui se trouve ainsi soumise à une pression normale égale à $T\cos\varphi$ par mètre, fait naître, dans chaque joint des voussoirs de cette couronne, une pression

$$Q = rT\cos\varphi = \frac{P}{2\pi r}.\sqrt{R^2 - r^2}.$$

A l'aide de ces valeurs, on peut calculer facilement les épaisseurs à donner à toutes les parties de la construction.

Digitized by Google

dente, on trouve que trois cuves de 400^m, qui auraient coûté 30,000 fr. avec les planchers, auraient résolu le problème. Il y a donc ici un excédant de dépense de 12,000 fr., mais nous avons regardé comme une compensation suffisante divers avantages, qu'on peut résumer ainsi : 1° la surface est partout accessible aux réparations ; 2° l'épaisseur de 0^m,005 et 0^m,006 est une bien plus grande garantie contre les accidents que peut occasionner l'oxydation des parois ; 3° le terrain sous la cuve devient disponible pour d'autres usages. Nous n'entrerons pas dans plus de détails au sujet de cette construction, parce qu'il s'agit d'un premier essai et que l'expérience n'a pas encore signalé tous les perfectionnements dont il est susceptible. Ce que nous voulons surtout faire remarquer, c'est le chiffre élevé des dépenses pour réservoir, à mesure que le niveau s'élève au-dessus du sol. En partant du niveau jusqu'à 10^m au-dessus, nous avons trouvé 3 fr., 50 fr. et 64 fr. Il faut remarquer, cependant, que quand on a recours aux réservoirs métalliques l'influence de la hauteur devient bien moins sensible, car elle ne porte plus que sur le support. Ainsi, si, dans l'exemple précédent, on avait voulu porter le réservoir plus haut, il n'aurait coûté que 1,500 fr. de plus par mètre de hauteur.

142. La surface des réservoirs est un autre élément de leur dépense auquel on doit avoir égard dans l'étude des projets. Une fois le volume d'eau qu'ils doivent contenir déterminé par la condition de mettre l'alimentation en rapport avec les irrégularités de la consommation, on peut prendre pour base du réservoir une surface plus ou moins considérable. Si l'on ne considérait que les besoins de la distribution et les dépenses relatives à l'élévation de l'eau, il est clair que les réservoirs devraient avoir une grande surface et peu de hauteur, car le service devant se faire, même lorsque l'eau descend dans le réservoir à son niveau minimum, le travail nécessaire pour l'élever depuis ce point jusqu'au trop plein est sans aucune utilité. Mais la surface du réservoir ayant une influence sur la dépense de cet ouvrage, on voit qu'il y a ici à faire un calcul analogue à celui du n° 128, c'est-à-dire à déterminer la hauteur qui rend la somme des dépenses un minimum. La variété des systèmes dans lesquels les réservoirs peuvent être construits ne permet pas d'établir une formule type, mais il sera toujours facile de déterminer approximativement, dans chaque cas particulier, l'influence de la hauteur sur les dépenses et d'arriver, au moins par tâtonnement, à la solution la plus économique. Ajoutons que l'empla-

Digitized by Google

cement dont on dispose, que des convenances d'architecture et surtout des conditions de salubrité ne permettront pas toujours de suivre les indications du calcul. Une tranche d'eau qui n'aurait que quelques centimètres d'épaisseur serait sujette à s'échauffer sous l'influence des rayons du soleil, et tous les éléments de corruption s'y développeraient rapidement. Quoi qu'il en soit, il sera toujours bon de connaître la hauteur correspondant au minimum de dépense, pour ne faire aux autres exigences de la question que les sacrifices rigoureusement nécessaires.

En résumé, les dépenses de construction des réservoirs dépendent, à un très-haut degré, de leur emplacement et de leur niveau par rapport au sol. Dans les chapitres précédents, nous avons cherché à déterminer leur position dans le réseau de la distribution, pour que les dépenses de la canalisation fussent aussi petites que possible ; ce que nous venons de dire démontre que, pour rendre la solution complète, il faut tenir compte de la dépense du réservoir. Ainsi, lorsque la condition du minimum de dépense de tuyaux détermine pour cet ouvrage une certaine position, il peut être cependant avantageux de le placer dans une autre, qui exigera des conduites plus longues ou d'un plus gros diamètre, cet excédant de dépense se trouvant plus que compensé par l'économie obtenue dans la construction du réservoir. Cette considération peut donc modifier, jusqu'à un certain point, le tracé des conduites, et on ne doit pas négliger d'en tenir compte. Nous ne voyons d'autre moyen de le faire que d'évaluer sommairement les dépenses dans les divers systèmes dont les avantages paraîtront se balancer; les considérations dans lesquelles nous venons d'entrer pourront peut-être faciliter ce travail.

143. Il nous reste à parler de quelques dispositions et de quelques ouvrages accessoires communs à tous les réservoirs.

De la nécessité de nettoyer assez fréquemment les réservoirs résulte celle de les diviser en deux parties, pouvant faire le service indépendamment l'une de l'autre. Pour les réservoirs en maçonnerie, on remplit cette condition au moyen d'un mur formant cloison et qui doit avoir l'épaisseur des murs d'enceinte, puisqu'il doit résister à la poussée de l'eau, lorsqu'un des compartiments est vide. Dans un très-grand réservoir en déblais, le mur de séparation pourrait être remplacé par une levée. Pour un réservoir en tôle, la cloison devrait être concentrique, à moins qu'on ne préférât le composer de deux cuves égales. Le radier ou fond du réservoir doit être

Digitized by Google

dressé en pente vers la bonde de fond pour que les eaux, en se retirant, emmènent la vase, qu'on pousse avec un balai. Si le réservoir était très-grand, on devrait même creuser une rigole, dans laquelle on rassemblerait plus facilement les dépôts.

Chaque compartiment du réservoir doit être percé d'au moins trois orifices, un orifice de décharge pour rejeter les eaux sales à l'extérieur et vider promptement le réservoir en cas de besoin. Cet orifice se trouve être nécessairement l'extrémité d'une conduite qui débouche à l'extérieur, dans un ruisseau, ou dans un égout ; il est nécessairement au niveau de la partie la plus basse du fond ou radier. On l'ouvre au moyen d'une bonde dont les dessins de la planche 12 suffisent pour faire comprendre le mécanisme. Le diamètre de la bonde et du tuyau qui lui correspond doivent être déterminés par cette condition de pouvoir vider le réservoir dans un certain temps. Les deux compartiments voisins peuvent avoir le même tuyau de décharge, au moyen d'une bifurcation aboutissant aux deux orifices. La conduite d'arrivée débouche ordinairement par le fond du réservoir, parce que c'est le moyen de profiter de toute sa hauteur pour le remplir plus promptement, et que si la conduite d'arrivée est en même temps une conduite de distribution, cette disposition est indispensable pour tirer parti de l'eau contenue dans la partie inférieure du réservoir; en même temps elle est la plus efficace pour empêcher que l'air se cantonne dans la conduite. Cependant lorsque l'eau est fournie par une machine et qu'on tient à lui faire faire un travail constant, la conduite d'arrivée peut déboucher au-dessus du réservoir ; on la ferme alors par un robinet-vanne ordinaire, dont nous donnerons plus loin la description ; il y a alors une conduite de départ correspondant au fond du réservoir. Cette conduite, soit qu'elle n'ait que cette dernière fonction, soit qu'elle remplisse en même temps celle d'être conduite d'arrivée, se ferme par une bonde comme la précédente ; mais, outre ce moyen de fermeture, on place encore sur la conduite, à peu de distance du réservoir, un robinet-vanne, qui permet de la suppléer. Le troisième orifice indispensable est celui du trop-plein ; lorsque le réservoir est alimenté par une machine ou par une conduite ayant son origine dans un réservoir supérieur, il pourrait arriver que l'eau dépassât le couronnement et occasionnât des dégâts en se déversant par-dessus les bords. On prévient cet inconvénient au moyen d'un tuyau vertical arasé un peu au-dessous du niveau qu'on ne veut pas dépasser. Ce

Digitized by Google

tuyau, placé dans l'intérieur de la cloison qui sépare les deux compartiments du réservoir, peut les desservir tous les deux; son orifice supérieur n'a pas besoin d'être fermé, et il est ordinairement branché sur la conduite de décharge. Un réservoir peut avoir plusieurs conduites d'arrivée et plusieurs conduites de départ; on peut multiplier les orifices de décharge, lorsque la surface du radier est considérable; en un mot, on peut adopter une foule de dispositions, suivant les besoins et les circonstances; nous ne croyons devoir signaler que celles qui sont essentielles. La planche 12 représente les détails des divers ouvrages accessoires du réservoir Vaugirard, construit sous l'habile direction de M. Mary, détails qui se reproduisent dans tous ceux de la distribution de Paris, avec de légères modifications.

144. On n'emploie plus aujourd'hui dans les distributions que trois espèces de tuyaux, les tuyaux de plomb, les tuyaux de fonte et les tuyaux de tôle plombée. Nous ne saurions rien ajouter aux détails donnés par Genieys (Voir à la 2me partie l'extrait de cet auteur) sur les autres espèces de tuyaux, attendu que nous n'avons jamais eu occasion d'en faire usage. Quant aux tuyaux de plomb, et surtout de fonte, leur fabrication a fait, depuis la publication de l'ouvrage de Genieys, de notables progrès que nous devons faire connaître, car c'est à ces progrès même qu'est due leur adoption presque exclusive dans les distributions.

Disons d'abord que, pour le stuyaux de fonte, le vœu exprimé par cet ingénieur, relativement au procédé de moulage, est aujourd'hui réalisé; les tuyaux sont coulés debout, ce qui a permis de réduire leur épaisseur, parce qu'on a été plus sûr de la rendre uniforme; enfin la fonte brute ayant baissé de prix, il en est résulté pour cette espèce de tuyaux une diminution de prix qui a rendu toute espèce de concurrence impossible, si ce n'est celle de la tôle plombée, dont nous parlerons tout à l'heure. Dans une récapitulation du détail des prix des diverses conduites, que nous avons dû supprimer, comme n'offrant plus aujourd'hui d'intérêt, Genieys établit ainsi le prix du mètre courant d'une conduite de 0^{m},108 de diamètre, dans les cinq modes de construction qu'il a considérés.

En fonte.	17^{f}	19
En plomb	39	67
En bois.	6	77
En poterie.	6	97
En pierre artificielle.	16	09

Digitized by Google

Aujourd'hui, le tuyau de fonte tout posé ne se payant plus que 11 à 12 fr., et celui de tôle plombée 6 fr. 30, on conçoit qu'il ne peut plus guère être question des tuyaux de pierre artificielle, beaucoup plus chers, ni des tuyaux de bois ou de poterie, à cause des fuites auxquelles ils peuvent donner lieu. Quant aux tuyaux de plomb, il y a longtemps qu'on y a renoncé pour la distribution proprement dite, par les motifs que nous avons exposés n° 90 ; ils ne sont plus employés que pour les petits branchements qui vont des conduites aux orifices. Il n'y a donc aujourd'hui, pour le réseau de la distribution, de choix réellement à faire qu'entre la fonte et la tôle pomblée.

145. Les tuyaux de ce dernier système étant beaucoup plus économiques, il est évident qu'il ne faudrait pas hésiter à les adopter, s'ils présentaient sous d'autres rapports les mêmes avantages. Or, malheureusement c'est là une question que le temps peut seul décider d'une manière définitive. Ajoutons que la confection de ces tuyaux étant une industrie brevetée [1], que leur qualité dépendant à un haut degré des soins apportés à la fabrication, une grande réserve nous est naturellement imposée sur la question de préférence. Depuis quatre ans que nous sommes dans le service municipal, nous avons été fréquemment consulté par des maires, par des ingénieurs, non-seulement de France, mais de pays étrangers, sur les avantages et sur les inconvénients que pouvait présenter l'emploi des tuyaux en tôle plombée. Il nous a semblé que la seule manière de répondre à ces nombreuses questions était de faire constater par un procès-verbal officiel l'état de la plus ancienne portion de conduite posée à Paris, et de laisser le public tirer les conclusions. Il résulte de ce procès-verbal [2]

[1] Il paraît que tout ou partie des brevets est expirée, car nous venons de recevoir des prospectus d'un concurrent.

[2] Voici ce procès-verbal :

« Le 26 novembre 1851, en présence de M. l'ingénieur en chef directeur du service municipal de la ville de Paris, ainsi que de MM. les ingénieurs en chef et de MM. les ingénieurs ordinaires et inspecteurs des eaux, il a été procédé au relèvement d'une portion (de 3m,25 de longueur) de la conduite en tôle et bitume dont la description est donnée ci-après.

« Cette partie de conduite, composée de deux demi-tuyaux réunis par un joint à vis, était posée en terre à 1 mètre environ de profondeur, sur la place Walhubert, à environ 25 mètres du pont d'Austerlitz, c'est-à-dire dans la partie de cette place la plus exposée au roulage des voitures.

« Ce relèvement a été fait au moyen de deux traits de scie pratiqués perpendiculairement à l'axe et de manière à ne pas faire éclater le bitume tant intérieur qu'extérieur ; la couche intérieure a été trouvée parfaitement adhérente à la tôle, sans aucune gerçure ; elle était recouverte

Digitized by Google

que rien n'annonçait un commencement de détérioration dans la portion de conduite relevée. Nous ajouterons que, depuis cette époque, M. Chameroy a posé dans la ville de Paris un grand nombre de conduites, et qu'aucune circonstance ne s'est révélée qui puisse infirmer les termes du procès-verbal.

Quand on prend le parti d'employer les tuyaux de ce système, on est obligé, pour leur confection, d'avoir recours à l'inventeur; nous n'avons donc aucun détail à donner pour les soins à prescrire dans une fabrication qu'on ne peut ni diriger ni surveiller. Il en est de même de tout ce qui concerne l'assemblage, la pose et la manière de faire les branchements; nous n'ajouterons à ce que nous avons dit à ce sujet, n° 91, et aux prescriptions qu'on trouvera dans le devis d'entretien (art. 11), que quelques mots relativement aux avantages de ce système sous le rapport de la dépense.

Il ne faudrait pas, en jetant les yeux sur les séries de prix qu'on trouvera dans le chapitre suivant, supposer l'économie produite par les tuyaux

d'un dépôt solide se détachant facilement et d'une épaisseur de 0m,001 au maximum. La couche extérieure du bitume enveloppait complétement le tuyau; en certains points elle portait quelques empreintes résultant de la pression du sol. Après avoir enlevé les deux couches tant intérieures qu'extérieures, la tôle plombée a été trouvée dans un état parfait de conservation. Les joints longitudinaux et transversaux, formés au moyen de rivets et de soudures, ont offert une grande résistance au burin pour ouvrir le tuyau suivant une génératrice, et il a été plus facile de couper la tôle à côté du joint que de faire sauter les rivets et la soudure.

« La tresse en filasse enduite de minium qui fermait le joint n'était pas altérée. Le pas de vis a pu se dévisser avec la plus grande facilité.

« Le démontage d'un tuyau en fonte de 0m,30 de diamètre sur le parcours de la même conduite, aux abords du pont d'Austerlitz (côté de la place Mazas), a permis de reconnaître, pour chaque tuyau, l'existence d'un dépôt intérieur semblable à celui qui recouvre la surface interne du tuyau en tôle et bitume précité. Ce dépôt, dont l'épaisseur était, à très-peu de chose près, la même dans les deux tuyaux, présentait toutefois une surface plus inégale, c'est-à-dire plus raboteuse, dans le tuyau de fonte. »

NOTE SUR LE MODE D'ÉTABLISSEMENT DE LA CONDUITE EN TÔLE ET BITUME DE 0m,30 DE DIAMÈTRE, DONT FAIT MENTION LE PROCÈS-VERBAL CI-DESSUS.

« En exécution d'un arrêté préfectoral en date du 17 décembre 1840, il a été posé à titre d'essai, dans le courant du mois de mars 1841, une conduite en tôle et bitume de 0m,30 de diamètre sur le pont d'Austerlitz, franchissant avec amorces dans les terres sur une longueur totale de 231m,40.

« Cette conduite est en tôle plombée, revêtue intérieurement d'une couche de bitume de 0m,002 d'épaisseur, et extérieurement d'une hélice de corde recouverte de bitume avec gravier, le tout sur une épaisseur de 0m,016; chaque tuyau, de 2m,50 de longueur, est formé dans sa longueur de deux feuilles de tôle assemblées à rivets et soudure; le joint longitudinal est également rivé et soudé; chaque extrémité porte un pas de vis, l'une mâle et l'autre femelle, en métal composé,

Digitized by Google

de tôle et bitume proportionnelle à la différence des prix du mètre courant de conduite dans les deux systèmes. Cela n'est vrai que pour les tuyaux droits; or, non-seulement, dans une distribution, les tuyaux ne sont pas toute la dépense, attendu qu'il y a des robinets, des ventouses, des regards, des réservoirs, des branchements en plomb, etc., etc., mais même une conduite comporte toujours des pièces de sujétion, des tuyaux de raccord, des culottes, pour lesquelles on est obligé souvent d'avoir recours à la fonte, ce qui réduit l'importance de l'économie relative. Cette économie est donc très-différente, suivant les travaux qu'on a à faire; quoi qu'il en soit, elle est encore très-considérable, et nous fournissons tous les éléments nécessaires pour l'apprécier. Enfin nous devons faire connaître, 1° que les tuyaux qui portent des tubulures ne peuvent pas être vissés au refus, parce qu'on est obligé d'arrêter le vissage au point qui donne une position convenable à la tubulure, ce qui rend le joint moins solide; 2° que les prises d'eau sur les tuyaux, que la conservation et le remploi de ceux qui ont été déposés

fondu sur la tôle; le pas de vis femelle est dans un manchon également en tôle plombée; ce manchon est rivé, soudé sur le corps du tuyau. Ont signé : »

(*Suivent les signatures des ingénieurs et inspecteurs du service municipal de Paris.*)

Nous croyons devoir ajouter au procès-verbal précédent un certificat de notre collègue du département du Rhône. On lira avec intérêt cette dernière pièce, rédigée par un ingénieur aussi compétent.

« Je soussigné, ingénieur en chef du département des Bouches-du-Rhône, directeur du canal de Marseille, certifie que les conduites en tôle enduites de bitume posées depuis le 26 juillet 1851 jusqu'au 19 mars 1852, sur une longueur de 45,300 mètres, par MM. Chameroy et Cie, dans le territoire de Marseille, pour le service de la distribution des eaux du canal de la Durance, ont fait jusqu'à ce jour un bon service et ont convenablement résisté aux pressions les plus fortes qu'elles ont eu à supporter.

« Dans la ville même, une de ces conduites, exposée à une *pression de onze atmosphères*, a été récemment établie par M. Chameroy, qui l'a confectionnée avec un soin particulier, en rapprochant les rivets les uns des autres et employant une tôle un peu plus épaisse qu'à l'ordinaire.

« Cette conduite, en charge depuis deux mois, fonctionne bien; plusieurs des tuyaux qui la composent, soumis à l'épreuve de la presse hydraulique, ont supporté sans aucune perte une *pression de trente atmosphères*.

« Les joints des tuyaux de toutes ces conduites se sont toujours montrés parfaitement étanches.

« Je constate également que plusieurs des tuyaux en tôle et bitume, coupés d'après nos ordres sur différents points du territoire de Marseille, ont été trouvés en parfait état de conservation, extérieurement et intérieurement.

« Marseille, le 7 janvier 1853.

« *L'ingénieur en chef du département, directeur du canal de Marseille,*

« DE MONTRICHER. »

Digitized by Google

sont aussi moins faciles que pour la fonte. Ce ne sont pas là des motifs pour ne pas se servir des tuyaux de tôle et bitume, mais on doit les mettre en balance avec leurs avantages spéciaux, qui sont une économie notable, une pose à froid prompte et facile, et une sécurité complète à l'égard des tubercules ferrugineux.

146. Les tuyaux de fonte ont en leur faveur une expérience séculaire; tous les fondeurs savent les fabriquer, tous les plombiers peuvent les poser, les assembler, les percer, les réparer; leur bonne ou mauvaise qualité est facile à constater avant l'emploi, leurs débris ont une valeur vénale assez importante : tels sont les principaux motifs qui maintiennent, malgré l'élévation de leur prix, l'usage de ces tuyaux concurremment avec ceux de tôle et bitume. Ajoutons que cette élévation de prix est en grande partie un résultat artificiel des lois de douane, et que si des tarifs plus libéraux venaient à être adoptés, elle se trouverait considérablement atténuée. De plus, un des grands éléments de la dépense des tuyaux de fonte résulte du mode d'assemblage, qui exige beaucoup de plomb, et qu'il est probable qu'on parviendra à trouver un procédé beaucoup plus économique. Nous avons été témoin de divers essais en caoutchouc, en colle..., qui, sous le rapport de l'étanchéité des joints, ne laissent rien à désirer; reste la question de durée, que le temps peut seul décider. Nous devons faire remarquer en effet qu'une des causes qui s'opposent au perfectionnement des procédés économiques de canalisation, c'est que les conséquences de l'insuccès d'une expérience sont tellement graves, qu'on n'ose jamais la faire que sur des dimensions très-restreintes, et qu'ensuite il faut beaucoup de temps pour en apprécier la valeur. Donc, tout ce que peut espérer l'inventeur d'un nouveau système, c'est un essai immédiat sur une petite étendue, et un succès à demi-constaté au bout d'une dizaine d'années. Personne ne veut courir les chances d'exécuter une canalisation importante avec un système qui n'a pas fait ses preuves. Les inventeurs, découragés, s'exercent peu dans une industrie où il faut attendre aussi longtemps pour réussir. De l'ensemble de ces considérations il résulte que les tuyaux de fonte seront probablement encore longtemps employés. C'est par ces motifs que nous allons décrire les procédés et les soins en usage dans la distribution de Paris pour la pose de ces tuyaux.

147. Lorsque les tuyaux sont livrés par le fondeur, on les essaye à une pression déterminée (Voir le chapitre VIII). Si on se servait d'air comprimé

Digitized by Google

pour la produire, ce qui serait commode sous certains rapports, l'opération offrirait de graves dangers, parce que le tuyau pourrait voler en éclats, en cas de rupture; l'eau, au contraire, perdant toute son élasticité dès qu'elle peut se dilater, ne saurait occasionner d'accident, c'est pour cela qu'on s'en sert ordinairement. L'appareil pour les essais se compose d'un châssis (planche 13) composé de deux plaques de fonte réunies par deux ou trois tirants. Une de ces plaques est fixe; l'autre, mobile et placée sur un petit chariot, peut, au moyen d'une vis de pression, serrer le tuyau assez fortement pour que l'eau ne puisse pas s'échapper par le joint que forment deux matelas convenablement garnis de cuir et de corde goudronnée. Au centre de la plaque fixe correspond un tuyau de plomb qui, mis en communication soit avec un réservoir plus élevé, soit avec une pompe, sert à remplir le tuyau à éprouver. Un petit trou ménagé dans la plaque opposée, et qu'on ferme avec une cheville de bois quand le tuyau est plein, donne issue à l'air. Le tuyau une fois rempli, on ferme le robinet qui met le tuyau de plomb en communication avec le réservoir, et on ouvre celui qui correspond à la presse hydraulique; on la fait alors agir jusqu'à ce que l'eau jaillisse par une soupape qui accuse la pression par le poids dont elle est chargée. On n'obtient ainsi qu'une pression momentanée, parce que la moindre variation de volume amène une détente; pour la prolonger, il faudrait mettre le tuyau en communication avec un réservoir d'air d'une certaine capacité, mais c'est une précaution à laquelle on n'a pas recours ordinairement. On rebute le tuyau s'il se fend, s'il se perce à l'endroit d'une soufflure, ou s'il donne lieu à des suintements. Une machine à essayer coûte 2,000 fr., y compris la presse, qui entre pour 400 fr. dans cette dépense. Cette partie de l'appareil se trouve dans le commerce; elle est d'ailleurs trop connue pour avoir besoin d'être décrite.

Outre cet essai préalable, on en fait souvent un autre dans la tranchée, avant que la conduite soit recouverte de terre, pour s'assurer de la parfaite étanchéité des joints (Voir le devis dans le chapitre suivant); mais, dans les distributions nouvelles, cet essai n'est pas toujours facile à faire, parce qu'on ne peut se procurer l'eau nécessaire; à Paris même, on se contente de mettre la conduite en charge au moyen des tuyaux voisins, ce qui est bien loin de donner la pression de 10 atmosphères à laquelle les tuyaux sont essayés. Il est essentiel, lorsqu'on fait l'essai dans la tranchée, d'arrêter solidement le tuyau d'extrémité, pour empêcher le déboîtement des joints.

Digitized by Google

148. La première opération de la pose des tuyaux consiste dans l'ouverture de la tranchée, qui doit avoir partout une profondeur suffisante pour que l'eau soit à l'abri de la gelée. On lui donne ordinairement à Paris $1^m,40$ au-dessus du tuyau. Si la voie publique dans laquelle elle est ouverte, a de légères inflexions de pente, on doit chercher à les faire disparaître, autant que possible, dans le nivellement de la conduite, surtout en ce qui concerne les contre-pentes. Nous ne reviendrons pas ici sur les conditions que doit remplir ce nivellement par rapport à la ligne de charge, qui doit toujours être supérieure au terrain pour que les fuites soient apparentes, et sur les précautions à prendre aux points d'inflexion, car ce sont là des prévisions du projet dont nous croyons avoir suffisamment signalé l'importance dans les chapitres précédents. La tranchée doit nécessairement avoir une largeur suffisante pour que les ouvriers puissent descendre jusqu'au fond ; si le tuyau est un peu gros, cette largeur ne suffit pas pour faire le joint, on l'augmente alors après coup, au droit de l'assemblage, en forme de niche. Les tuyaux une fois descendus, il s'agit de faire les joints.

Les tuyaux de fonte étaient autrefois assemblés à brides, c'est-à-dire que leur extrémité portait une couronne percée de trous, comme le représentent plusieurs figures des planches 14, 15 et 16. Entre les deux brides, on plaçait une rondelle en plomb, qu'on serrait avec des boulons d'autant plus nombreux que le diamètre des tuyaux était plus grand. Si on imagine une conduite ainsi assemblée, on reconnaîtra qu'elle forme un système rigide et invariable; c'est-à-dire que si elle est placée entre deux points fixes, tout changement de forme ou de longueur qui dépasse l'élasticité du métal doit amener une rupture. Or, le changement de longueur, par l'effet de la dilatation, et celui de forme, par suite du tassement ou de l'ébranlement du sol, sont à peu près inévitables. Pour remédier à l'inconvénient de la dilatation, on plaçait autrefois, de distance en distance dans la longueur de la conduite, des tuyaux dits compensateurs, dans lesquels le reste de la conduite s'avançait ou se retirait, suivant sa température; mais c'était là un palliatif insuffisant : les fractures et les fuites étant encore trop nombreuses, à cause de la rigidité de la conduite entre deux compensateurs, on a fini par adopter le joint à emboîtement. A la seule inspection des figures des planches 14, 15 et 16, on reconnaît que ce joint forme une espèce de genou, qui permet à la conduite de pouvoir, sans se rompre, se dilater, se contracter et dévier de sa position

Digitized by Google

normale. Le joint à bride n'est donc plus qu'une exception, qui, à ce titre, ne saurait avoir d'inconvénient. Ce joint est, du reste, indispensable pour permettre d'intercaler les robinets et autres pièces nécessaires à la distribution, et pour faciliter en même temps la dépose de la conduite, comme nous l'expliquerons tout à l'heure.

Une conduite part en général d'une tubulure ménagée sur une plus grosse conduite. Cette tubulure est à bride, pour pouvoir être fermée provisoirement par une plaque pleine ; le premier tuyau est alors à bride et cordon, le second à emboîtement et cordon, etc., etc. Si on juge à propos de mettre un robinet à l'origine de la conduite, ce robinet étant à double bride, rien n'est changé dans l'ordre des tuyaux ; si le robinet est placé dans le cours de la conduite, on met, au lieu d'un tuyau à emboîtement et cordon, un tuyau à emboîtement et bride, puis le robinet, puis un tuyau à bride et cordon, etc., etc.

On procède de la même manière, que la pose ait lieu en tranchée ou en galerie. Dans cette dernière circonstance, surtout lorsque les galeries servent d'égout, il est commode d'employer des consoles, qui ne gênent pas le cours de l'eau et permettent de nettoyer le radier. Nous donnons, dans la planche 19, les dessins des consoles en fonte en usage dans le service municipal, et dont la forme et les dimensions sont calculées d'après le diamètre des conduites qu'elles doivent supporter ; on trouvera leur poids dans le chapitre suivant. Une précaution essentielle, lorsqu'on pose en galerie, c'est d'attacher la conduite aux pieds-droits par des agrafes qui ne lui permettent pas de sortir de sa direction, quand elle y est sollicitée par les coups de bélier qui résultent de la fermeture des robinets. Nous n'entrerons pas dans d'autres détails au sujet de la pose des tuyaux de fonte ; nous croyons que la meilleure manière de les présenter est de reproduire textuellement les pièces officielles qui servent, à Paris, de base aux adjudications des travaux neufs et des travaux d'entretien, et qui contiennent toutes les conditions de bonne exécution qu'une longue expérience a suggérées ; les ingénieurs y trouveront en même temps des types qui, à l'aide de légères modifications, leur permettront d'abréger la rédaction des cahiers des charges pour l'exécution des distributions dont ils pourraient être chargés. Outre les textes, qu'on trouvera dans le chapitre suivant, nous donnons, dans les planches 14 à 22, les dessins des tuyaux les plus fréquemment employés, et de toutes les pièces accessoires rela-

Digitized by Google

tives à chacun des diamètres. A l'aide de ces dessins exactement cotés et des renseignements fournis dans le texte, il sera facile de faire, en cas de besoin, le même travail pour d'autres dimensions et de commander toutes les pièces d'une distribution dans une fonderie quelconque.

149. Pour déposer les tuyaux, on place sous le joint une feuille de tôle couverte de charbons qu'on enroule autour de la conduite. En allumant le charbon, on fait couler le plomb ; mais, pour extraire un tuyau, il faut que cette opération soit répétée sur un certain nombre de joints; on tire alors la conduite perpendiculairement à son axe, et on arrive ainsi à déboîter un bout de tuyau. Cette opération est assez longue et assez dispendieuse, car le plomb est ordinairement perdu; c'est ce qui fait qu'on se résigne souvent à briser un tuyau, d'autant plus facilement qu'en chauffant le joint, comme nous venons de le dire, il arrive quelquefois qu'on fait éclater le tuyau. Le tuyau à bride se démonte beaucoup plus facilement, il suffit de couper les boulons au ciseau, car il est rare qu'au bout d'un certain temps on puisse dévisser les écrous; on peut ainsi enlever un seul tuyau parfaitement intact; c'est pour avoir cette facilité qu'on en intercale quelques-uns dans la longueur des conduites.

150. Une conduite qui n'aboutit pas à un réservoir se termine ordinairement par une bride, pour qu'on puisse la fermer par une plaque pleine. Si cette plaque est en fonte, on met une rondelle en plomb comme pour le joint à bride, les boulons traversent la bride et la plaque; si la plaque est en plomb et tient lieu de rondelle, on la boulonne sur une bride en fer en forme de couronne. Ce dernier système est plus commode, en ce qu'il permet de souder sur la plaque un tuyau de plomb à l'aide duquel on fait l'essai des joints.

151. C'est ainsi que se pratique la pose normale des tuyaux, mais les sujétions imposées par les localités obligent d'avoir quelquefois recours à d'autres systèmes. Lorsqu'on a démonté une portion de conduite, pour ôter un tuyau cassé ou pour y intercaler soit un robinet, soit un tuyau à tubulure, on est obligé de faire un raccord, c'est-à-dire de rétablir la conduite entre deux points qui ne se trouvent pas à des distances convenables, c'est alors qu'on emploie le manchon simple. Imaginons qu'on ait deux tuyaux à réunir par les extrémités qui portent des cordons; avant de mettre en place l'un des tuyaux, on y fera glisser un manchon qu'on ramènera ensuite sur les cordons, où il formera double emboîtement et donnera

Digitized by Google

un moyen facile de former le joint. Le cordon n'étant pas indispensable pour former un bon joint, on rassemble de la même manière des tuyaux coupés de longueur convenable pour combler les lacunes, ce qui dispense de faire fondre des tuyaux spéciaux. On se sert du manchon à coquilles lorsque les tuyaux sont fêlés ou cassés sur de petites étendues; la réparation se fait ainsi sans dépose de tuyaux. On fait sauter les brides au ciseau, lorsqu'elles doivent être enveloppées par des manchons. Nous donnons, dans la planche 20, les dessins des divers manchons en usage à Paris.

152. Ce que nous avons dit des tuyaux droits s'applique aux tuyaux courbes, qui s'assemblent entre eux et avec les tuyaux droits, soit avec des brides, soit avec des emboîtements (Planches 17 et 18). Lorsqu'il ne s'agit que de légères déviations, en ayant une rondelle de plomb oblique pour les brides, et en faisant dévier les axes au moyen du jeu que présente l'emboîtement dans les tuyaux de ce dernier système, on forme des polygones dont les angles sont plus ou moins prononcés, et qui dispensent souvent d'avoir recours aux tuyaux courbes. Ainsi, en général, cet artifice de pose suffit parfaitement dans les rues sinueuses.

153. Les embranchements principaux se font ordinairement au moyen de tuyaux portant une tubulure venue à la fonte (Planche 18). Quand on pose une conduite maîtresse, il est prudent de placer un de ces tuyaux au droit de chaque rue, qui tôt ou tard aura nécessairement son embranchement; on ferme provisoirement la tubulure par une plaque pleine. On peut aussi mettre simplement un tuyau à bride, qu'on remplace facilement par un tuyau à tubulure, quand cela est nécessaire. Lorsqu'aucune de ces précautions n'a été prise et qu'on ne veut pas démonter la conduite, on fait le percement du diamètre voulu, et on y applique une tubulure en plomb à double bride; celle qui s'adapte sur la conduite est cylindrique et épouse la forme du tuyau; un collier à lunettes la serre sur sa surface, de manière à la rendre parfaitement étanche; sur la seconde bride, on assemble soit un tuyau de plomb, soit un tuyau de fonte, suivant le diamètre qu'on veut donner au branchement. Les figures 3, 4 et 5 de la planche VII, 2me partie, représentent ce mode de branchement. Il est fréquemment employé pour les branchements particuliers, lorsqu'on ne se sert pas de conduite à mamelons taraudés. On rabat un collet formant bride à l'extrémité du tuyau de plomb, et on applique cette bride sur la conduite principale, ainsi qu'il vient d'être expliqué. Mais ce travail est

Digitized by Google

assez dispendieux, lorsqu'il a lieu sur de grosses conduites, à cause de la dimension à donner aux colliers; on peut se servir alors d'un autre mode, qui consiste à percer la fonte, à tarauder l'orifice et à y visser un bout de tuyau de bronze, dont une extrémité porte un pas de vis, et dont l'autre se termine soit par une partie conique, soit par une bride sur laquelle on assemble le branchement. Pour le succès de ce procédé, il faut que la fonte présente une certaine épaisseur; de plus, le taraudage sur place demande un outillage spécial qu'on n'a pas toujours à sa disposition. C'est par ce double motif que, depuis quelques années, dans le service de Paris, on établit à l'avance, dans une partie renflée du tuyau, un trou taraudé que l'on ferme provisoirement avec un tampon de métal fusible. Lorsqu'il s'agit de faire une prise d'eau, il suffit de dévisser le tampon et de le remplacer par un robinet qui porte le même pas de vis.

Les dessins de tuyaux, planches 14, 15 et 16, représentent tous ces détails.

La dépense d'un tampon peut s'évaluer ainsi :

Tampon pesant 0k,30 à 0k,32, composé de 3/7 de plomb, 3/7 de zinc, 1/7 d'étain[1]	0f,374
Fonte, façon, coupage de rondelles	0,065
Rondelle en cuir	0,031
Combustible, faux frais	0,03
Total pour le bouchon métallique	0f,50
Percement et taraudage du trou chez le fondeur	0,10
TOTAL	0f,60

S'il devait y avoir autant de prises d'eau que de tampons métalliques, ce système donnerait lieu à une très-grande économie, puisqu'il dispenserait d'une dépense de 20 francs environ par prise d'eau. Mais, sur certaines conduites, beaucoup de ces mamelons restent sans emploi, et le surcroît de dépenses qu'ils occasionnent est sans compensation. Ce procédé est surtout avantageux lorsque les conduites sont d'un fort diamètre et qu'on

On nous adresse d'Amiens des tampons presque entièrement détruits par l'oxydation. Le même inconvénient ne s'est pas encore manifesté à Paris, quoique ce système y soit appliqué depuis 12 ou 13 ans. Cela tient-il à la nature de l'eau ou à une différence de composition des tampons métalliques? C'est ce que nous n'avons pu encore vérifier; quoi qu'il en soit, c'est un fait à prendre en considération pour apprécier le système.

Digitized by Google

s'attend à un grand nombre de branchements particuliers. Partout ailleurs, les inconvénients nous paraissent compenser les avantages, et peut-être serait-il préférable ou de ne pas percer le tuyau, ou de faire venir à la fonte dans toute sa longueur une nervure plate de $0^m,06$ de largeur, sur laquelle, aux endroits les plus commodes pour la distribution, se feraient les trous taraudés.

Pour n'avoir pas à revenir sur ce sujet, mentionnons ici les divers ouvrages qui sont la conséquence d'une prise d'eau pour orifice public ou pour orifice particulier.

154. Ainsi que nous l'avons déjà dit, les petits branchements qui vont des conduites aux orifices, étant obligés de suivre des directions contournées et ne conduisant qu'une petite quantité d'eau, se font ordinairement en plomb. La confection de ces tuyaux a été perfectionnée depuis quelques années; on fait sortir le métal, fortement pressé, par une filière circulaire dans laquelle s'engage un mandrin qui forme le noyau du tuyau. Pour faciliter cette opération, on chauffe légèrement le récipient qui contient le plomb. Les tuyaux ainsi obtenus sont d'une épaisseur uniforme et parfaitement cylindriques. Leur longueur varie d'après leur diamètre, attendu qu'ils contiennent en plomb la capacité du récipient. On assemble les tuyaux de plomb de deux manières : à chaud, par la soudure; à froid, avec des brides mobiles.

155. Pour l'assemblage à soudure, on fait légèrement pénétrer les deux tuyaux l'un dans l'autre en coupant leur extrémité en sifflet, en dedans pour l'un, en dehors pour l'autre; puis on fait ce qu'on appelle un nœud de soudure, en versant l'alliage en fusion sur les extrémités des tuyaux, que le plombier maintient en présence, au moyen d'un linge.

L'assemblage à bride s'obtient en passant, dans les deux bouts de tuyaux, des anneaux percés de deux ou trois trous, suivant leur diamètre; puis, à l'aide d'un maillet et en chauffant légèrement l'extrémité du tuyau, on rabat sur ces brides un collet circulaire. Lorsque les deux collets sont bien dressés, on les serre l'un sur l'autre, à l'aide des boulons passés dans les trous des brides. Au besoin, on intercale une rondelle en cuir gras.

On assemble, suivant ces deux systèmes, les tuyaux de plomb avec les robinets, c'est-à-dire avec les bouts de tuyaux qui accompagnent toujours ces appareils. Si le robinet porte une bride, on rabat un collet sur une bride mobile et l'on réunit le tuyau au robinet à l'aide de boulons. Si le robinet

Digitized by Google

ne porte pas de bride, son extrémité légèrement conique peut pénétrer dans le tuyau de plomb, ou, si elle est évasée, le recevoir dans son intérieur. Après avoir convenablement découpé la surface du tuyau pour amener le contact, on fait un nœud de soudure sur le joint.

Il est indispensable de placer un robinet à l'origine ou aussi près que possible de l'origine de chaque branchement desservant un orifice. Sans cet appareil, il faudrait arrêter l'eau sur la conduite, c'est-à-dire interrompre le service général de cette conduite pour la moindre réparation à faire sur ce branchement.

156. Il y a dans une distribution quatre espèces de robinets : les robinets d'arrêt, de décharge et de jauge, placés dans le courant des conduits, et le robinet de puisage, placé à l'extrémité des branchements. On donne à chacun de ces robinets diverses formes, suivant leur destination et le diamètre des conduites dont ils font partie. La forme type est celle du robinet à boisseau (voir le *Vocabulaire* de Genieys et la planche 25), elle est connue de tout le monde, parce qu'elle est le plus fréquemment employée pour les robinets de puisage dont on se sert tous les jours. Elle n'est plus en usage dans les robinets d'arrêt que pour les diamètres de $0^m,06$ et au-dessous ; pour de plus grands diamètres, le développement des surfaces en contact étant trop considérable, la manœuvre de ces robinets ne se fait plus qu'avec la plus grande difficulté.

Occupons-nous d'abord des petits diamètres ; si la prise d'eau s'opère au moyen d'un trou taraudé, on visse sur le tuyau même une extrémité du robinet préparée à cet effet, c'est-à-dire portant un pas de vis et un collet. Un anneau de cuir gras, placé entre ce collet et la conduite, assure l'étanchéité. Si le trou est vertical, la branche du robinet est coudée, de manière que le carré du robinet soit horizontal et la clef verticale, le tuyau de plomb est alors assemblé à la suite du robinet.

Si la prise est faite avec collier, on réunit le robinet au bout de tuyau pris dans le collier, soit par une soudure, soit par collet battu, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

La plupart des conduites étant noyées dans le sol, on manœuvre leurs robinets d'arrêt à boisseau au moyen d'une bouche à clef (planche 25). On établit d'abord autour du robinet une petite chambre en briques, qu'on désigne sous le nom de *tabernacle*. Le carré de cette chambre est recouvert par un bout de planche percée, sur laquelle repose la bouche à clef. Elle est

Digitized by Google

formée d'un tuyau en cœur de chêne ou en orme de $0^m,20$ de diamètre, percé d'un trou cylindrique de $0^m,081$, et freté par en haut d'un cercle en fer forgé, de $0^m,038$ sur $0^m,008$ d'épaisseur. Le trou du tuyau est fermé par un tampon en fonte, ajusté dans une boîte de même métal adaptée à l'orifice supérieur du trou du tuyau, et retenu par une chaîne, pour qu'il ne soit pas enlevé. On scie la bouche à clef de longueur, pour que sa partie supérieure affleure le pavé. Quand on veut manœuvrer le robinet, on soulève le tampon et on introduit dans le tuyau une clef suffisamment longue.

Les robinets d'arrêt à boisseau peuvent aussi faire l'office de robinets de décharge, si l'on pratique à angle droit sur l'œil, du côté de l'orifice, un petit trou qui corresponde à la partie inférieure de la clef et par lequel l'eau du branchement puisse s'écouler quand le robinet est fermé; une rondelle échancrée, dite heurtoir, enfilée dans la partie inférieure de la clef et venant buter contre un talon adapté au boisseau, limite la rotation de ces robinets à un quart de cercle, de manière que quand ils sont fermés ils ne peuvent vider que la portion de branchement correspondant à l'orifice. On comprend que, s'ils étaient libres, on pourrait, en les fermant, mettre, sans le vouloir, la conduite principale en décharge, et par suite inonder le sol environnant.

On coiffe les robinets sous bouche à clef d'un chapeau en fonte, qui fait porter le poids de la clef sur le boisseau. Cette clef étant assez lourde, lorsque le robinet est à une grande profondeur, si on la plaçait directement sur le cône qui entre dans le boisseau, elle finirait par l'y enfoncer, et par suite la manœuvre deviendrait difficile ou impossible.

157. L'établissement d'un orifice public exige donc les travaux suivants : 1° prise d'eau sur la conduite, soit sur tubulure venue à la fonte, soit sur mamelon taraudé, soit au moyen d'un percement et d'un collier; 2° établissement d'un robinet d'arrêt et de décharge aussi près que possible de la prise; 3° tuyau terminé par un robinet de puisage. Ordinairement on fait ce tuyau en plomb, lorsqu'il doit être court, avoir un petit diamètre, et présenter de nombreuses sinuosités; mais, en dehors de ces circonstances, on peut employer la fonte ou la tôle plombée.

Un branchement particulier exige les mêmes travaux à l'origine, c'est-à-dire prise d'eau et robinet; mais, à Paris, la clef de ce robinet ne devant pas rester entre les mains de l'abonné, ce dernier est obligé d'avoir un second robinet pour pouvoir arrêter l'eau en cas d'accident ou de répara-

Digitized by Google

tion sans avoir recours aux agents de l'administration des eaux. Dans une ville où l'abonné pourrait promptement recourir à ces agents, ce second robinet ne serait pas nécessaire. Il va sans dire, du reste, que, dans aucun cas, l'abonné ne peut avoir la clef du robinet de prise d'eau, puisqu'il faut, en cas de cessation de l'abonnement et de fermeture de robinet par l'administration, qu'il ne soit pas possible de l'ouvrir frauduleusement. Les robinets d'arrêts particuliers doivent donc avoir un carré plus petit que ceux du service public.

158. Lorsqu'une concession est jaugée, on place sur le branchement, outre les robinets précédents, un robinet de jauge. Il y en a de plusieurs systèmes. Celui qui est en usage à Paris (planche 21) n'est autre chose qu'un robinet ordinaire dont la clef est percée d'un très-petit trou, auquel on donne, par expérience, le diamètre nécessaire pour que le débit par vingt-quatre heures soit égal à celui qui est concédé. Un petit grillage précède la clef et empêche les ordures d'obstruer l'orifice de jauge. Ce robinet est placé entre deux robinets d'arrêt qui permettent de retirer la clef et de nettoyer le filtre. Une plaque de fer, assemblée à charnière sur la partie supérieure de ces robinets et percée de trois trous correspondant aux carrés des clefs des robinets, les maintient ouverts. Elle est elle-même arrêtée par un cadenas, dont la clef reste dans les mains de l'administration.

159. Pour les conduites au-dessus de $0^m,06$ les robinets d'arrêt sont fermés par une vanne qui se lève et s'abaisse au moyen d'une vis. Tout le mécanisme est renfermé (planches 21 et 22) dans une boîte en fonte, composée de quatre parties reliées entre elles par des boulons qui serrent des bandes de plomb enduites de peinture au minium.

Les faces de la vanne, légèrement inclinées, pour qu'elle forme coin lorsqu'elle est fermée, portent une saillie circulaire parfaitement dressée qui correspond à une saillie semblable de la paroi intérieure de la boîte. Pour assurer le contact de ces saillies, on y adapte des cercles en cuivre qu'on a dressés en les faisant glisser l'un sur l'autre jusqu'à ce que le contact soit parfait. Cet ajustage demande du soin et par conséquent beaucoup de main-d'œuvre; c'est pour qu'il puisse se faire plus facilement que la boîte qui contient le robinet se divise en quatre parties, et est toujours en fonte de deuxième fusion. L'écrou en cuivre est adapté à la vanne; pour que le mouvement de rotation de la vis ne la fasse pas tourner, elle porte des oreilles qui glissent le long de deux rebords saillants de la boîte.

Digitized by Google

La vis en cuivre qui n'a qu'un mouvement de rotation tourne dans un stuffing box fixé sur la partie supérieure.

Les dessins exacts des robinets-vanne des planches 21 et 22, tels qu'on les exécute dans le service de Paris, nous dispensent d'entrer dans plus de détails au sujet du mécanisme de ces appareils. Ce n'est qu'après de longs tâtonnements qu'on est parvenu à en arrêter les diverses dispositions. En effet, il n'est pas facile d'avoir, sur une conduite soumise à une forte pression, des robinets parfaitement étanches, qui ferment des deux côtés et dont la manœuvre soit facile. Le système que nous venons de présenter satisfait à ces conditions, mais il laisse encore à désirer sous plusieurs rapports et nous espérons qu'il subira dans la suite quelques perfectionnements. D'abord, comme on le verra dans le chapitre suivant, le prix de ces appareils est très-élevé, et se trouve même augmenté par la nécessité de les placer dans un regard, ainsi que nous l'expliquerons plus loin ; ils occupent beaucoup de place en hauteur, et cela est souvent un embarras pour les grosses conduites ; la boîte de forme rectangulaire ne résisterait pas à une grande pression sans une très-forte augmentation d'épaisseur : la vis enfermée dans la boîte a besoin d'être manœuvrée souvent pour que sa surface ne se couvre pas de dépôts; enfin, rien n'indique à l'extérieur la position du robinet qui, par la négligence d'un fontainier, peut rester à demi ouvert. Ce dernier inconvénient est assez grave; parce que, outre la gêne qui résulte, pour la distribution, d'une ouverture incomplète, le fontainier qui revient pour fermer, n'ayant pas fait le nombre de tours voulu, croit que la vanne n'est pas à fond et brise le robinet en faisant un effort considérable sur la vis. Dans une distribution complexe, comme celle de Paris, où beaucoup de conduites sont en communication, il n'est pas toujours facile de reconnaître si un robinet est fermé ou ouvert, parce que l'eau peut arriver par diverses directions. Nous croyons inutile de faire connaître les diverses tentatives que se proposent de faire les ingénieurs du service municipal pour améliorer le robinet-vanne actuel, parce que, dans cette matière, les idées n'ont de valeur que lorsqu'elles sont sanctionnées par l'expérience. Il nous paraît préférable de faire connaître le système de clapets d'arrêt employé, dans la distribution de Marseille, par M. de Montricher. Nous en empruntons la description et les dessins (planches 23 et 24) au portefeuille de l'Ecole des ponts et chaussées :

Digitized by Google

« Le clapet d'arrêt est composé d'une boîte cylindrique destinée à être posée verticalement et prolongée par deux tronçons de conduites soudées à la conduite principale.

Le cours de l'eau se dirige de A en B (planche 23), de telle sorte que, le clapet étant fermé, la pression agit en dessus, ce qui arrête la communication entre les deux parties de la conduite et forme un joint étanche.

Le clapet cylindrique C en fonte, muni de deux saillies, glisse dans les guides *αα*, et est garni en dessous d'une rondelle *c* en gutta-percha, reposant sur l'arête du tuyau cylindrique légèrement arrondi, et bien dressée et polie sur le tour.

La tige en bronze D est attachée au clapet et est pourvue d'un pas de vis triangulaire.

Un couvercle en fonte E est boulonné sur la boîte du clapet avec lequel le joint est opéré au moyen d'un anneau en caoutchouc vulcanisé, serré contre la saillie circulaire *δ* du cercle.

La garniture V en gutta-percha serre le joint de la petite boîte à étoupe G.

Le couvercle H de la boîte à étoupes est attaché au corps de la boîte à l'aide des petits boulons *dd*.

Ces boulons, pourvus d'une tige triangulaire ω, s'ajustent en glissant par une ouverture latérale ménagée dans la boîte.

Le couvercle porte une anse en fonte en travers de laquelle passe la tige en bronze qui se meut dans un écrou I, rivé en dessous et pourvu en dessus d'une saillie qui l'empêche de se rapprocher du couvercle.

On remarquera que, la pression agissant sur le clapet, c'est au moment où on le lève que le plus grand effort est à vaincre ; c'est dans ce but que la saillie de l'écrou est placée sur l'anse, puisque le plus grand effort de la vis tend à rapprocher l'écrou du couvercle.

Lorsque le clapet se ferme, au contraire, la pression de l'eau vient en aide au mouvement, et la vis n'a presque pas de résistance à vaincre : une simple rivure suffit dès lors à maintenir en place l'écrou.

Toute la fonte de cet appareil est plongée encore tiède dans du goudron bouillant ; cette préparation, qu'elle subit deux fois, est destinée à la garantir des effets de l'oxydation.

L'avantage capital de cet appareil consiste dans la facilité que l'on trouve à entretenir la vis, qui est toujours apparente.

Le prix en est très-peu élevé ; le tableau suivant le fait connaître :

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES MATIÈRES et MAIN-D'ŒUVRE.	PRIX de L'UNITÉ.	CLAPET DE 0m,04		0m,05		0m,06		0m,08		0m,10		0m,12		0m,15	
		Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses	Quantité des matières.	Montant des dépenses
Fonte, frais de modèle compris, les 100 kil...	f c 40,00	k 17,00	f c 6,80	k 21,00	f c 8,40	k 25,00	f c 10,00	k 34,00	f c 13,60	k 49,00	f c 19,60	k 67,00	f c 26,80	k 95,00	f c 38,00
Bronze, le kil.....	6,00	0,40	2,40	0,50	3,00	0,70	4,20	1,20	7,20	1,70	10,20	2,20	13,20	2,70	16,20
Boulons à queue d'hironde, la pièce.....	0,25	2,00	0,50	2,00	0,50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	0,30	»	»	»	»	2,00	0,60	2,00	0,60	»	»	»	»	»	»
	0,40	»	»	»	»	»	»	»	»	2,00	0,80	2,00	0,80	2,00	0,80
4 boulons du couvercle, les 100 kil.....	150,00	1,10	1,65	1,10	1,65	1,67	2,50	1,67	2,50	1,67	2,50	»	»	»	»
	120,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2,18	2,61	2,18	2,61
Gutta-percha, le kil....	5,00	0,030	0,15	0,033	0,17	0,038	0,19	0,052	»,26	0,092	0,46	0,112	0,56	0,181	0,90
Anneaux en caoutchouc.	15,00	0,044	0,66	0,044	0,66	0,052	0,78	0,064	0,96	0,085	1,27	0,093	1,40	0,117	1,75
Main-d'œuvre, y compris l'application du coltar.	»	»	3,84	»	4,62	»	5,73	»	6,88	»	8,17	»	9,63	»	11,74
TOTAUX.....			f c 16,00		f c 19,00		f c 24,00		f c 32,00		f c 43,00		f c 55,00		f c 72,00

Digitized by Google

Pour les clapets d'arrêt destinés aux conduites de $0^m,20$, $0^m,25$ et $0^m,30$ de diamètre, la pression serait trop forte dans une conduite soumise à une charge d'eau de huit atmosphères et en employant une soupape pleine.

On a remédié à cet inconvénient de la manière suivante (planche 24) :

La soupape qui recouvre le cylindre vertical de $0^m,25$ de diamètre intérieur est composée de deux pièces réunies au moyen de boulons; la partie inférieure A forme le joint sur le tuyau, à l'aide d'une rondelle de gutta-percha.

La partie supérieure B est évidée, pour laisser passer l'eau injectée, lorsque la soupape C se lève.

Cette soupape C commence à se mouvoir lorsque l'on tourne la vis; elle recouvre un vide circulaire de $0^m,115$ de diamètre, et son mouvement ne cesse que lorsqu'elle rencontre par sa partie supérieure la partie inférieure $\alpha\alpha$ de la grande soupape; à ce moment, et si l'on continue à tourner la vis, la grande soupape se lève à son tour et le tuyau de $0^m,25$ se remplit.

La pression de l'eau agit, comme toujours, par-dessus, et l'on voit que dans ce système, pendant la première période du mouvement, cette pression s'exerce sur une soupape qui n'a que $0^m,16$ de diamètre. Cette soupape levée, la pression se reporte sur la seconde soupape, qui n'a qu'une surface de $0^{mc},039$, vide intérieur déduit.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES.	PRIX de L'UNITÉ.	CLAPET DE $0^m,20$		CLAPET DE $0^m,25$		CLAPET DE $0^m,30$	
		QUANTITÉ.	SOMME.	QUANTITÉ.	SOMME.	QUANTITÉ.	SOMME.
	f. c.	k	f. c.	k	f. c.	k	f. c.
Fonte, frais de modèle compris, 100 kilog.....	40,00	170,00	68,00	233,00	92,80	320,00	128,00
Bronze, le kilog.....	6,00	2,77	16,62	5,26	31,56	8,50	51,00
Boulons à queue d'hironde, la pièce.....	0,50	6,00	3,00	6,00	3,00	6,00	3,00
6 boulons de couvercle, 100 k.	110,00	6,75	7,45	6,75	7,45	6,75	7,45
2 guides, les 100 kilog.....	110,00	1,76	1,94	1,76	1,94	1,76	1,94
Gutta-percha, le kilog.....	5,00	0,267	1,33	0,340	1,70	0,415	2,08
Anneau de caoutchouc, le kil.	15,00	0,157	2,36	0,30	4,50	0,46	6,90
Main-d'œuvre, y compris l'application du coltar.....	»	»	29,30	»	37,05	»	49,63
			f. c.		f. c.		f. c.
TOTAUX.....			130,00	»	180,00	»	250,00

Digitized by Google

Les clapets de chasse sont faits d'après les mêmes principes [1]. »

Si l'on compare les prix précédents à ceux des robinets-vanne de Paris (voir le chapitre suivant), on trouvera qu'ils ne sont guère qu'un peu plus de moitié ; de plus, la sortie de la vis annonce au dehors le degré d'ouverture, et permet de faire un graissage à l'extérieur. Ce sont là des avantages incontestables ; mais la fermeture ne nous paraît hermétique que d'un côté. Or, comme nous l'avons dit, on a besoin de fermer tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Le mouvement de l'eau, contrarié par des changements brusques de direction, doit donner lieu à des dépôts et à une forte perte de charge; et si l'on se résignait à ce dernier inconvénient, rien ne serait si facile que de diminuer la dépense des robinets-vanne, en réduisant leurs diamètres, au moyen de troncs de cône opposés par le sommet. Ce sont des observations que nous croyons devoir soumettre à l'appréciation des ingénieurs.

160. Nous avons dit (n° 143) que quand les conduites aboutissent à des réservoirs, on est dans l'usage de les faire déboucher par le fond, pour pouvoir profiter de toute leur hauteur, et pour que l'air puisse s'échapper facilement des conduites. On les ferme alors par une bonde de fond dont les dispositions rappellent celles du clapet de Marseille. La bonde se manœuvre au moyen d'une tige qui s'élève au niveau de la partie supérieure du réservoir (planche 12). Le contact a lieu sur des cercles en cuivre, coupés en biseau et parfaitement dressés. Nous ferons remarquer que leur fermeture ne peut être hermétique que du côté du réservoir, parce que la pression contribue à la fermeture; du côté de la conduite, au contraire, elle tend à soulever la bonde; on place alors extérieurement au réservoir, et à peu de distance, des robinets-vanne. Au lieu de faire le joint de la bonde au moyen de deux couronnes de cuivre ajustées l'une sur l'autre, on pourrait, comme à Marseille, fixer un anneau de caoutchouc ou de gutta-percha sous le clapet supérieur; cet anneau, pressé sur les bords saillants du tuyau inférieur, rendrait le joint parfaitement étanche. Cette disposition serait moins dispendieuse que la précédente.

161. Les robinets-vanne, c'est-à-dire ceux qui ont un diamètre de plus de $0^m,06$ [2], sont placés dans des chambres en maçonnerie qui per-

[1] En consultant la planche 24, on verra que le même système de fermeture a été adopté pour les bornes-fontaines.

[2] Pour se dispenser de la construction toujours dispendieuse d'un regard, on se contente, à Paris de faire les branchements des tuyaux de $0^m,081$, au moyen de robinets à boisseau de $0^m,06$ ave

Digitized by Google

mettent de les réparer et de les entretenir sans faire de tranchée sur la voie publique. Quant à la manœuvre, on trouve plus commode aujourd'hui de la faire au moyen d'une bouche à clef qui correspond au carré de la vanne, et dispense d'entrer dans le regard. Ces petits ouvrages en maçonnerie sont assez dispendieux, et lorsqu'ils ne sont pas en communication avec un égout, ils nécessitent des curages assez fréquents; ce serait donc un progrès que de se dispenser de les établir, et de les remplacer par de simples bouches à clef, montées sur des tabernacles de briques qui envelopperaient le robinet. Mais cela n'est pas possible avec les robinets-vanne actuels, dont le stuffing box a besoin d'être graissé de temps en temps, et qui, par leur grand nombre de joints, donnent lieu à des fuites assez fréquentes.

Les regards construits pour le service de la distribution de Paris ont la forme d'un parallélipipède rectangle. Leurs dimensions varient avec le diamètre et le nombre des robinets; et il arrive souvent qu'aux branchements de conduites plusieurs robinets se trouvent réunis, et peuvent être desservis par le même regard. Il est à désirer que les robinets soient verticaux, parce que leur manœuvre est beaucoup plus facile; mais cette condition n'est pas toujours remplie, à cause de la hauteur du pavé.

Ces regards sont garnis, au fond, d'une couche de béton de $0^m,10$ d'épaisseur, raccordée avec celle de la fondation établie au même niveau. La couche de béton du fond du regard est disposée en cuvette, et percée d'un trou de $0^m,10$ de diamètre pour la perte des eaux qui s'égoutteraient du robinet; à ce trou correspond une pierrée verticale formant puisard.

Les murs ont généralement pour épaisseur moyenne le quart de la hauteur; ils sont construits en maçonnerie de meulière et mortier de chaux hydraulique; les parements sont smillés et rejointoyés.

L'ouverture du regard est fermée par un châssis en fonte, garni de son tampon. Ces pièces, représentées par les fig. 79 et 80, ont été décrites à la page 167.

bouche à clef. Le seul inconvénient de cette disposition est une perte de charge plus considérable que celle qu'eût donnée le robinet-vanne de $0^m,081$. Il est regrettable que l'on ne connaisse pas l'importance des pertes de charge produites par ces étranglements, parce qu'il est probable que que dans beaucoup de circonstances on pourrait employer des robinets dont l'œil serait sensiblement plus petit que le diamètre des conduites, ce qui serait très-économique.

Digitized by Google

Pour terminer ce qu'il y a à dire des pièces placées dans le courant des conduites, il nous resterait à parler des ventouses; mais ces appareils, représentés dans la planche 22, étant suffisamment expliqués dans la 2e Partie, pages 90 et 91, nous ne pouvons qu'y renvoyer.

162. Nous allons parler maintenant des orifices qui servent à distribuer l'eau pour le service public.

Ceux dont l'usage est le plus fréquent sont les bornes-fontaines. Voici la description du modèle le plus fréquemment employé à Paris, et des ouvrages accessoires qui en dépendent (planche 25).

Les bornes sont formées d'un fût rectangulaire reposant sur un socle de même forme, et couronné par un demi-cylindre dont l'axe est perpendiculaire aux plans des faces les plus larges du prisme.

Le développement entier des parois de la borne a une épaisseur uniforme de $0^m,012$.

Le fût présente en plan une longueur de $0^m,30$, et une largeur de $0^m,14$, mesurée extérieurement; sa hauteur est de $0^m,50$, y compris le couronnement cylindrique.

Le socle, qui présente en plan une saillie de $0^m,01$ sur la face antérieure et sur les deux faces latérales du fût, a $0^m,44$ de hauteur, et se termine, au pourtour de sa base, par une bride de forme également rectangulaire de $0^m,055$ de largeur. La bride est extérieure en avant et sur les côtés de la borne, mais intérieure au bas de la face postérieure. Cette bride, de $0^m,02$ d'épaisseur, est percée de cinq trous, deux sur chaque face latérale, et trois par devant.

Sur la partie supérieure de la borne se trouve une ouverture de $0^m,235$ de largeur, laquelle règne sur l'intervalle entier compris entre les parois antérieure et postérieure.

Dans ces faces latérales, à $0^m,10$ au-dessus de la bride, on pratique deux trous circulaires de $0^m,05$ de diamètre, autour desquels il y a extérieurement un renfort d'une épaisseur uniforme de $0^m,005$, disposé suivant la forme d'une bride à oreille.

La face extérieure est percée de trois trous; le premier, placé au centre du cylindre qui couronne la borne, a $0^m,08$ de diamètre; il est renforcé circulairement sur $0^m,005$ d'épaisseur et $0^m,02$ de largeur, pour recevoir la bouche d'eau. Le second trou rectangulaire, de $0^m,02$ de largeur sur $0^m,008$ de hauteur, est placé au-dessus du renfort du trou de la bouche. Le troi-

Digitized by Google

sième trou, de 0m,005 de diamètre, est pratiqué au-dessus du socle, au milieu de la face antérieure.

Dans l'intérieur de la borne, les faces antérieure et postérieure sont renforcées de 0m,007, suivant le pourtour de l'ouverture de 0m,30, plus haut mentionnée; ce renfort forme la feuillure de la porte, laquelle est cylindrique, en épousant la forme demi cylindrique de la borne.

Le fond de la borne est formé par une plaque en fonte de 0m,02 d'épaisseur, dans laquelle sont pratiqués sept trous correspondant exactement à ceux de la bride ménagée à la culasse de la borne.

Cette plaque est dès lors rectangulaire et de 0m,42 de longueur, sur 0m,20 de largeur.

Les bornes-fontaines sont adossées aux maisons, aux murs, aux édifices qui limitent la voie publique; elles sont placées vis-à-vis les points culminants des ruisseaux qu'elles doivent laver.

La pose se fait en creusant, dans l'emplacement déterminé, un trou de 1m de longueur sur 0m,55 de largeur, et 0m,70 de profondeur. Après la pose de la borne, on répare le pavé avec soin au pourtour du souillard [1] ou du trottoir sur un massif en béton, et on coule les joints en bitume, après avoir chauffé les pavés.

Dans le fond de la fouille creusée, et suivant les mêmes dimensions horizontales, on forme un massif en maçonnerie de meulière et à bain de mortier hydraulique de 0m,45 d'épaisseur. Les parements en sont faits en meulières plates et bien gisantes, smillées avec soin, tant sur la face que dans les lits et joints. Le tout est recouvert d'une couche ou chape en même mortier, et suivant une pente de 0m,01.

Les cuvettes adaptées aux bornes placées sur les trottoirs ont 0m,33 de large, 0m,50 de long et 0m,25 d'épaisseur. Elles sont refouillées d'abord de 0m,10 pour former un cul-de-lampe carré de 0m,28, lequel est fermé par une grille à barreaux triangulaires, ensuite d'une amorce de caniveau qui sert de débouché au cul-de-lampe et d'origine à la gargouille en fonte.

Les gargouilles ont une longueur suffisante pour se prolonger jusqu'au ras extérieur de la bordure en granit du trottoir.

[1] Le souillard est la pierre creuse qu'on place au pied de la borne et qui en reçoit le jet. On fait aussi des souillards en fonte, s'assemblant avec les gargouilles qui conduisent l'eau, à travers le trottoir, jusqu'au ruisseau coulant le long de la bordure.

Digitized by Google

Tous les joints, tant des trottoirs que ceux des bornes avec les souillards ou les murs auxquels elles sont adaptées, sont exécutés en ciment romain.

Les bornes sont garnies d'une porte, d'une serrure, d'une plaque de fond, d'une bouche, d'une colonne en plomb, d'un robinet.

La porte est formée d'une plaque cintrée en tôle de $0^m,0045$ d'épaisseur, s'emboîtant exactement dans sa feuillure, et mobile autour de deux tourillons fixés sur la porte, l'un par deux rivets, l'autre par deux vis à tête carrée. Ces tourillons sont engagés par leurs extrémités dans des trous forés dans la borne, et tellement placés que la porte puisse s'abaisser en s'ouvrant jusqu'au niveau de la borne.

La serrure est en bronze, et se compose : 1° d'un palâtre qui épouse la forme de la porte avec entrée, picolet et garnitures; 2° d'un pène circulaire embrevé à l'axe pour servir de boîte au ressort; 3° d'un foncet recevant le bout de la clef, et guidant la course du pène; 4° d'un ressort en spirale, avec broche servant de guide au pène et écrou à pans; 5° de trois vis, dont deux à têtes à chapeau pour fixer la serrure sur la porte; 6° d'un cache-entrée.

Le joint de la plaque de fond se fait au moyen d'une rondelle en plomb et d'autant de boulons que la plaque comporte de trous. La rondelle est découpée exactement suivant la forme du joint, et a $0^m,0045$ d'épaisseur, sur $0^m,005$ de largeur. Les boulons à écrou, taraudés, ont la tête carrée, et $0^m,015$ de diamètre.

Les raccordements des trous latéraux se font au moyen de brides à oreilles percées de deux trous. Elles ont $0^m,015$ d'épaisseur, et sont fixées dans la borne chacune par deux vis à tête carrée de $0^m,02$ de diamètre. Les joints, tant du fond que des trous latéraux, sont essayés avant la pose en remplissant les bornes d'eau jusqu'à l'orifice de la porte.

Le boulon de bouche a la forme des trous préparés dans la borne, et est retenu par une clavette en cuivre.

Dans l'intérieur de chaque borne est placée une colonne en plomb de $0^m,027$ de diamètre intérieur, laquelle partant d'un des trous latéraux, vient se raccorder avec le robinet au moyen d'un collet battu et d'une bride mobile. La partie supérieure de la colonne est évasée progressivement en forme de cône, de manière à se raccorder, sans ressaut brusque, avec le boisseau du robinet.

L'eau pénètre dans le robinet par la partie inférieure de la clef, et en

Digitized by Google

sort par un orifice latéral pour arriver dans le bout du tuyau qui porte le pas de vis mâle. Le boisseau n'est ainsi rattaché qu'à un seul bout de tuyau. La clef du robinet est à cône renversé, elle porte : 1° en dessous, une bride à deux trous pour le raccord avec la colonne; 2° en dessus une tête, pour la manœuvre du robinet. On fixe la clef dans le boisseau au moyen d'une rondelle et d'une clavette. Les raccords du robinet avec la colonne, et de celle-ci avec la borne, se font au moyen de cuirs gras comprimés à l'aide des deux vis ou des deux boulons traversant les brides.

Dans les nouvelles bornes, les robinets coniques sont remplacés par un nouveau modèle, dit à soupape. Ces robinets, faits en bronze, se composent essentiellement d'un boisseau cylindrique avec tubulure d'équerre portant pas de vis d'incendie, d'une soupape à coulisse et lunette dont le siége se visse dans le boisseau, d'un stuffing box ou boîte à cuirs, d'une vis de pression agissant sur la soupape, et d'un écrou faisant fonction de modérateur en réglant l'ouverture de ladite soupape.

Le mode d'assemblage de ce robinet avec la borne et avec la colonne en plomb est d'ailleurs le même que celui qui a été décrit ci-dessus.

Pour les bornes qui doivent donner de l'eau à volonté, la tige du robinet à soupape porte à l'extérieur un bouton dit repoussoir, à l'aide duquel on l'abaisse à volonté; un ressort la ramène à sa position, toutes les fois que la pression sur le bouton cesse d'agir; un écrou vissé sur cette tige limite sa course, et règle par conséquent l'ouverture maximum qu'on peut donner à la soupape en appuyant sur le repoussoir.

Sur le filet qui termine l'autre branche du robinet, s'adapte une bouche en fonte dans laquelle a été fixée, lors de l'opération de la fusion, une rondelle en cuivre filetée. La bouche est fixée à la borne au moyen du boulon mentionné précédemment.

La borne se raccorde avec la conduite en fonte au moyen d'un bout de tuyau en plomb, auquel est soudé un robinet d'arrêt et de décharge sous bouche à clef. Le raccord s'opère au moyen de brides mobiles et de cuirs gras, d'un côté au trou de la borne auquel aboutit la colonne en plomb, et de l'autre à la bride qui termine la tubulure de la conduite en fonte, destinée à alimenter la borne.

163. Lorsque l'orifice public n'est pas destiné à donner de l'eau pour puisage, on le place dans une boîte en fonte dite dégorgeoir, et qui fait partie de la bordure du trottoir (pl. 26). A côté de cette pièce se trouve une

Digitized by Google

boîte qui contient deux robinets, entre lesquels se trouve une bouche d'incendie. Pour laver les ruisseaux, les deux robinets sont ouverts; quand on visse le boyau d'incendie, on ferme le second et on ouvre le premier. On donne à ces appareils le nom de bouches sous trottoirs.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer, au sujet de la pose des bornes-fontaines, s'appliquent à celle des poteaux d'arrosement, dont il suffit de reproduire les dessins (planche 26). Nous ferons remarquer cependant que la colonne est disposée de manière à former réservoir d'air et à éviter l'effet des coups de bélier produits par la fermeture brusque du robinet; mais nous doutons que cette disposition produise le résultat qu'on en espère : l'air, n'étant pas renouvelé, doit se dissoudre dans l'eau et être entraîné avec elle. Les poteaux d'arrosement sont, au reste, d'un usage beaucoup moins fréquent que les bornes-fontaines; nous ajouterons que celles-ci peuvent les remplacer jusqu'à un certain point. L'arrosement des voies publiques de Paris ayant pris depuis quelques années une grande extension, le nombre des poteaux s'est trouvé insuffisant, on a été obligé d'avoir recours aux orifices de bornes-fontaines. Il a suffi, pour cela, de visser un tuyau de cuir au pas de vis d'incendie, et de faire dégorger ce tuyau dans le tonneau d'arrosement. Lorsqu'on prévoit cet usage des bornes, il est bon de donner au branchement un plus fort diamètre, 5 à 6 centimètres. Le temps que le tonneau met à se remplir représente une dépense, il est donc important de l'abréger.

Tous les robinets de puisage public sont disposés de manière à ce qu'on puisse y visser un tuyau d'incendie, ainsi que le représentent les dessins que nous en donnons. Mais lorsque ces orifices sont trop éloignés, on établit des orifices spéciaux qui n'ont que cet usage. Ils sont renfermés dans des boîtes de fonte, comme les bouches sous trottoir, et n'en diffèrent que par leur position dans des murs verticaux. Il est rare que ces orifices soient assez multipliés et qu'on ait une pression suffisante pour lancer l'eau directement sur les maisons incendiées; ils servent seulement au remplissage des tonneaux qui approvisionnent les pompes.

En donnant avec autant de détails la description des ouvrages de fontainerie employés dans la distribution de Paris, nous n'avons d'autre intention que de faire connaître un certain nombre de ces appareils, qui, ayant pour eux la garantie d'une assez longue expérience, peuvent servir de point de départ pour l'étude de nouveaux systèmes.

Digitized by Google

Il est évidemment impossible d'entreprendre la description de tous les joints, de tous les robinets, de toutes les soupapes, de toutes les bornes-fontaines, qui, tous les jours, sont proposés et mis en essai. Les appareils de fontainerie sont susceptibles d'une infinité de combinaisons; la plupart, fabriqués d'avance, sont des objets de commerce et dépendent plus du métier de plombier que de l'art de l'ingénieur. Nous pensons que ce dernier peut à cet égard se contenter de notions générales, qui lui permettent de faire un choix éclairé parmi les nombreuses dispositions qui lui seront proposées par les hommes spéciaux.

Des motifs semblables nous dispensent de rien ajouter à ce qu'on trouvera dans la deuxième partie, au sujet des fontaines monumentales. Leur alimentation repose sur les mêmes principes que celle de tout autre orifice public; mais leur construction, leur ornementation dépendent plutôt de l'architecture que de la science de l'ingénieur : elles font d'ailleurs l'objet de traités spéciaux, auxquels on devra avoir recours en cas de besoin.

164. Les dépenses d'entretien d'une distribution d'eau sont très-variables, puisqu'elles sont complétement accidentelles. Nous ne parlons ici que de l'entretien du réseau des conduites et non de ce qui concerne les machines élévatoires, roues hydrauliques ou machines à vapeur; car, partout où il y a travail mécanique, il y a consommation susceptible de se calculer. Lorsqu'une canalisation est convenablement établie, il est impossible de se rendre compte *à priori* des dépenses qu'elle pourra occasionner, car le mouvement de l'eau dans les conduites ne saurait ni les user ni les détériorer; cependant des réparations assez fréquentes et assez dispendieuses deviennent nécessaires. On va voir, dans le tableau suivant, qu'il y en a en moyenne, à Paris, 461 par an pour un développement de 293 kilomètres [1]. Le compte contradictoire des dépenses de ces réparations ne se prête pas à un métrage exact; de plus, il faut que l'entrepreneur qui les fait soit fortement intéressé à leur bonne exécution ; c'est par ces motifs que l'entretien des conduites est depuis longtemps l'objet d'un forfait, c'est-à-dire qu'il est payé suivant un prix invariable par mètre courant de conduite posée et par an; c'est un abonnement dont le prix ne peut être qu'une approximation. La ville de Paris, ayant grand intérêt à se rendre compte de l'exactitude du

[1] C'est une séparation par 640^{m} de longueur; mais, en défalquant les conduites en plomb qui appartiennent à l'ancienne distribution de Paris, on peut compter moyennement sur une réparation par kilomètre et par an, résultat que nous avons déjà fait connaître.

Digitized by Google

chiffre porté au bail d'entretien, a fait tenir compte, pendant trois ans, des dépenses faites par l'entrepreneur pour les réparations à sa charge. Nous présentons dans le tableau suivant les principaux résultats statistiques auxquels on est parvenu par ce travail. Disons d'abord qu'en compulsant les chiffres des tableaux détaillés, dont le suivant n'est que le résumé, on ne voit pas que le diamètre influe ni sur le nombre ni sur la dépense des réparations, quelle que soit la nature des conduites.

NATURE DES CONDUITES.	LONGUEUR.	NOMBRE DE RÉPARATIONS		DÉPENSE		
		TOTAL.	par kilomètre	TOTALE.	par réparation	par kilomètre
1	2	3	4	5	6	7
	kilom.			f c	f c	f c
Conduite en plomb.	25	204	8,27	3533 »	17,29	142,93
— en fonte..	246	227	0,88	6625 »	32,08	27,45
— en tôle et bitume.....	22	30	1,38	718 »	23,71	32,78
Totaux et moyennes générales.....	293	461	1,57	10876 »	23.59	37,14

Il est indispensable de présenter quelques observations relativement à ce tableau, avant d'en tirer aucune conséquence :

Les chiffres des colonnes 4, 5 et 6, comprennent les dépenses du rétablissement du pavé, qui entrent pour 2 cinquièmes dans le total des réparations ;

Les conduites de plomb sont, en général, en petit diamètre, et la plupart fort anciennes;

Beaucoup de conduites de fonte appartiennent à l'ancien système des tuyaux à brides, qui donne lieu à plus de ruptures que le système à emboîtement et cordon ; les conduites en tôle et bitume sont récentes.

Quoi qu'il en soit, il nous semble que les chiffres de ce tableau mettent en évidence les faits suivants.

Les tuyaux de plomb donnent lieu à des réparations beaucoup plus nombreuses que les autres tuyaux (8 fois environ) ; il est vrai qu'elles coûtent moins, de sorte que l'entretien par kilomètre n'est que 5 fois environ plus considérable. Cela tient, il faut le dire, à ce que, le plomb coûtant très-cher, on ne donne pas aux tuyaux toute l'épaisseur qu'exigerait le défaut de ténacité du métal.

Digitized by Google

Les tuyaux de fonte donnent lieu au moins grand nombre de réparations, mais ce sont ceux dont les réparations sont les plus dispendieuses; cependant, toute compensation faite, on trouve que ce sont ceux dont l'entretien présente le plus d'économie.

Les tuyaux de tôle et bitume sont sujets à plus de réparations que les tuyaux de fonte, mais elles coûtent moins cher. Cependant l'entretien par kilomètre est plus dispendieux que pour les tuyaux de fonte.

Si nous écartons de cette comparaison les tuyaux de plomb, qui ont dans les distributions un usage spécial, pour ne nous occuper que des tuyaux de fonte et de tôle et bitume, nous arrivons à cette conséquence, que les tuyaux de fonte coûtent moins cher d'entretien ; mais cette dépense pour les uns et pour les autres est tellement faible, qu'on ne saurait y puiser un motif de préférence bien sérieux. Nous devons faire remarquer, du reste, qu'en ce qui concerne les tuyaux de tôle et bitume, l'expérience a porté sur un trop petit nombre de kilomètres pour être bien concluante.

Les chiffres du tableau expriment les dépenses faites sur place en fournitures de matériaux et main-d'œuvre, mais ils ne comprennent pas les frais généraux qu'un entrepreneur est obligé de faire pour pourvoir à des travaux aussi accidentels et qui demandent une grande promptitude d'exécution, de sorte qu'à Paris on est obligé de payer à l'entrepreneur à peu près le double du prix de revient. Dans les conditions des distributions ordinaires de villes moins importantes, le prix de 5 centimes par mètre et par an est suffisant, et peut servir de base à une adjudication.

Ce prix comprend les robinets d'arrêt et de décharge placés dans le parcours des conduites, mais il ne comprend pas les autres ouvrages accessoires, pour l'entretien desquels nous ne pouvons que renvoyer au devis inséré dans le chapitre suivant. On conçoit, du reste, que le mode de construction des divers ouvrages influe beaucoup sur les dépenses d'entretien, et qu'en faisant connaître les prix du service de Paris nous ne pouvons avoir d'autre prétention que de fournir des points de comparaison.

Digitized by Google

CHAPITRE XIV.

DOCUMENTS DIVERS RELATIFS A L'EXÉCUTION, A L'ENTRETIEN ET A L'EXPLOITATION DES DISTRIBUTIONS DEAU.

165. Devis des fournitures de fontes pour l'entretien [1] et l'amélioration de la distribution de Paris.

Art. 1er. L'entreprise a pour objet la fourniture : 1° des tuyaux de divers diamètres employés dans les renouvellements ou prolongements partiels des conduites d'eau posées par l'adjudicataire de l'entretien des conduites de la Ville, ainsi que dans l'entretien de ces mêmes conduites; 2° des consoles servant de support à ces tuyaux dans les galeries; 3° des bornes-fontaines, poteaux d'arrosement et ventouses; 4° des manchons, soit ordinaires, soit à coquilles, employés dans la réparation des conduites; 5° des châssis et tampons pour trappes de regards; et généralement de toutes les fontes nécessaires à l'entretien des ouvrages dépendant du service municipal, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de la ville de Paris, y compris le dépotoir de La Villette.

Art. 2. La durée de l'entreprise est fixée à trois ans et neuf mois. Elle commencera le 1er avril 1853 et finira le 31 décembre 1856.

Art. 3. Le présent bail est fait sur série de prix, et le montant annuel des fournitures à faire reste complétement indéterminé, en sorte que l'entrepreneur ne pourra élever aucune réclamation au sujet des variations que les dépenses pourront subir. Ces variations n'auront de limites, en plus ou en moins, que la nécessité de dépenser chaque année le montant des fonds alloués pour l'exécution des travaux.

Cependant, pour fixer le droit d'enregistrement, et sans que l'entrepreneur puisse s'en prévaloir pour quelque cause que ce soit, on estime que la dépense annuelle pourra s'élever moyennement à la somme de 60,000 fr.

Art. 4. Le cautionnement est fixé à la somme de 2,000 fr. Il sera fourni, soit en numéraire, soit en obligations de la Ville ou en rentes calculées au pair.

Si le cautionnement est fait en argent, l'adjudicataire en recevra l'intérêt à 3 pour 100. S'il est fait en rentes, il en recevra les arrérages.

Art. 5. L'administration se réserve le droit de faire fournir par un autre entrepreneur, dans certains cas dont les ingénieurs seront juges, les pièces d'une forme particulière et non prévue.

Art. 6. Les tableaux ci-après font connaître les dimensions et les poids des différentes pièces à fournir, lesquelles devront avoir exactement les formes indiquées sur les feuilles lithographiées du *portefeuille municipal* [2], dont un exemplaire sera remis à l'entrepreneur.

[1] Les travaux d'une grande importance font l'objet de devis spéciaux, tant pour la fourniture que pour la pose des tuyaux; mais nous avons cru inutile de reproduire ces pièces, parce qu'elles ne sont que des extraits des devis suivants. Les entrepreneurs de l'entretien étant obligés d'exécuter les travaux neufs dont la dépense ne dépasse pas un certain chiffre, les cahiers des charges de leurs entreprises ont dû nécessairement contenir les conditions qu'il est nécessaire de stipuler pour l'exécution des travaux neufs.

[2] Il s'agit de la collection qui contient les dessins cotés des tuyaux, consoles, robinets et autres pièces de fonte en usage à Paris, collection à laquelle l'atlas de cet ouvrage a emprunté un grand nombre de documents.

Digitized by Google

DIMENSIONS DES TUYAUX.

DIAMÈTRES DES TUYAUX.	LONGUEUR TOTALE DES TUYAUX DROITS					FILETS.		CORDONS.			ÉPAISSEUR normale DES TUYAUX		EMBOITEMENTS.			BRIDES.				OBSERVATIONS.
								Au petit bout.												
	à emboîtement et cordon.	à emboîtement et bride.	à bride et cordon.	à 2 emboîtements.	à 2 brides.	Largeur.	Saillie sur le fût fixant la surépaisseur de l'emboîtement.	Longueur.	Saillie sur le fût.	Diamètre sur l'emboîtement.	droits.	courbes.	Longueur.	Épaisseur.	Diamètre intérieur.	Diamètre extérieur.	Épaisseur à la jonction des tuyaux.	Fruit.	Nombre de trous.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
m 0,081	m 2,61	m 2,61	m 2,50	m 2,72	m 2,50	m 0,086	m 0,004	m 0,016	m 0,006	m 0,02	m 0,0095	m 0,0115	m 0,11	m 0.0135	m 0,12	m 0,224	m 0,0165	m 0,003	3	Les tuyaux *courbes* ne diffèrent des tuyaux *droits* que par leur *épaisseur*, indiquée dans la colonne n° 13 ci-contre. Les longueurs et largeurs des emboîtements, brides et cordons, restent les mêmes.
0,108	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,01	0,012	Id.	0,014	0,148	0,253	0,017	Id.	4	
0,135	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,175	0,280	Id.	Id.	5	
0,162	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,0105	0,014	Id.	0,0145	0,203	0,317	0,0175	Id	6	
0,19	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,011	0,0145	Id.	0,015	0,232	0,347	0,018	Id.	Id.	
0,216	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,0115	0,015	Id.	0,0155	0,259	0,377	0,0185	Id.	Id.	
0,25	2,63	2,63	Id.	2,76	Id.	0,087	0,005	0,036	0,008	0,04	0,012	Id.	0,13	0,017	0,298	0,411	0,020	Id.	Id.	
0,30	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,013	0,016	Id.	0,018	0,350	0,474	0,021	Id.	8	
0,325	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,0135	Id.	Id.	0,0185	0,376	0,499	0,0215	Id.	Id.	
0,35	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,014	0,017	Id.	0,019	0,401	0,528	Id.	Id.	9	
0,40	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,0145	0,018	Id.	0,0195	0,453	0,582	0,0225	Id.	10	
0,50	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,016	0,020	Id.	0,021	0,556	0,682	0,024	Id.	12	
0,60	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	0,018	0,022	Id.	0,023	0,660	0,786	0,026	Id.	14	

Digitized by Google

POIDS DES TUYAUX ET DE LEURS PRINCIPALES PARTIES.

1° *Tuyaux droits.*

DIAMÈTRES.	A EMBOITEMENT ET CORDON. POIDS de l'emboîtement.	du corps du tuyau.	TOTAL.	A EMBOITEMENT ET BRIDE. POIDS de l'emboîtement.	du corps du tuyau.	de la bride.	TOTAL.	A BRIDE ET CORDON. POIDS de la bride.	du corps du tuyau.	TOTAL.	A DOUBLE EMBOITEMENT. POIDS des emboîtements.	du corps du tuyau.	TOTAL.	A DOUBLE BRIDE. POIDS des brides.	du corps du tuyau.	TOTAL.	Poids du mètre linéaire du corps du tuyau.	OBSERVATIONS.
m	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	
0,081	9	49	58	9	47	6	62	6	49	55	18	47	65	12	47	59	20	Les chiffres portés dans la colonne ci-contre permettent d'établir immédiatement le poids des tuyaux dits de raccord ou de longueur variable, en ajoutant, au poids correspondant à la longueur que l'on considère, celui de l'emboîtement ou de la bride qui le termine.
0,108	11	67	78	11	64	8	83	8	67	75	22	64	86	16	64	80	28	
0,135	13	83	96	13	79	10	102	10	82	92	26	79	105	20	79	99	35	
0,162	16	103	119	16	98	12	126	12	103	115	32	99	131	24	98	122	43	
0,19	20	126	146	20	120	14	154	14	126	140	40	120	160	28	120	148	52	
0,216	25	149	171	22	142	17	181	17	149	166	44	142	186	34	142	176	62	
0,25	35	180	215	35	170	20	225	20	180	200	70	170	240	40	170	210	75	
0,30	43	233	276	43	220	27	290	27	233	260	86	220	306	54	220	274	97	
0,325	48	262	310	48	247	30	325	30	262	292	96	247	343	60	247	307	108	
0,35	52	291	343	52	275	33	360	33	291	324	104	276	380	66	275	341	121	
0,40	61	343	404	61	324	39	424	39	343	382	122	324	446	78	324	402	143	
0,50	80	471	551	80	445	51	576	51	471	522	160	445	605	102	445	547	190	
0,60	105	633	738	105	598	67	770	67	633	700	210	600	810	134	598	732	264	

2° *Tuyaux courbes.*

DIAMÈTRES.	1/4 de cercle ou 90°. — Rayon 0,50 — Double bride.	1/8 DE CERCLE OU 45°. RAYON 0m,50. Double bride.	Bride et cordon.	Emboîtement et cordon.	RAYON 0m,75. Double bride.	Bride et cordon.	Emboîtement et cordon.	RAYON 1m,00. Double bride.	Bride et cordon.	Emboîtement et cordon.	RAYON 1m,50. Double bride.	Bride et cordon.	Emboîtement et cordon.
m	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
0,081	28	18	17	20	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,108	27	24	22	27	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0,135	»	»	»	»	36	35	41	»	»	»	»	»	»
0,162	»	»	»	»	54	49	56	»	»	»	»	»	»
0,19	»	»	»	»	»	»	»	76	73	80	»	»	»
0,216	»	»	»	»	»	»	»	89	86	94	»	»	»
0,25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	140	139	155
0,30	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	180	177	195
0,325	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	193	191	210
0,35	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	219	217	239
0,40	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	263	261	286
0,50	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	355	356	392
0,60	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	462	466	512

Digitized by Google

TUBULURES.

TUBULURES DE	0,06	0,081	0,108	0,135	0,162	0,19	0,216	0,25	0,30	0,325	0,35	0,40	0,50	0,60
Poids additionnels.....	8k	11k	14k	17k	22k	24k	28k	32k	38k	41k	44k	53k	74k	105k

ROBINETS-VANNE.

Diamètres des TUYAUX auxquels ils s'adaptent.	POIDS.
m	k
0,081	101
0,108	129
0,135	207
0,162	238
0,19	293
0,216	304
0,25	410
0,30	450
0,325	580
0,35	612
0,40	763
0,50	1,117
0,60	1,470

MANCHONS.

Diamètres des TUYAUX auxquels ils appartiennent.	Diamètres intérieurs.	Poids des manchons ordinaires.	Poids des manchons à coquilles	OBSERVATIONS.
m	m	k	k	
0,081	0,121	20	33	
0,108	0,15	27	39	
0,135	0,18	38	53	
0,162	0,20	44	60	Les épaisseurs variables des tuyaux de ce diamètre (anciens et nouveau modèle) nécessitent des manchons de différents diamètres
	0,21	46	62	
	0,22	48	64	
0,19	0,24	56	72	
0,216	0,26	63	81	Même observation.
	0,27	66	83	
	0,28	68	86	
0,25	0,30	80	98	Même observation.
	0,31	82	100	
	0,32	85	103	
0,30	0,36	112	136	
0,325	0,38	117	142	
0,35	0,41	136	162	
0,40	0,46	176	205	
0,50	0,56	241	272	
0,60	0,66	329	361	

CONSOLES.

Diamètres des TUYAUX qu'elles doivent porter.	Longueurs des consoles.	POIDS.
m	m	k
0,081	0,40	4
0,108		
0,135	0,50	7
0,162		
0,190	0,65	12
0,216		
0,25	0,70	15
0,30		
0,325	0,80	17
0,35		
0,40		
0,50	0,96	27
0,60		32

BORNES-FONTAINES
AVEC PLAQUE DE FOND.

GRAND MODÈLE	PETIT MODÈLE
150k	90k

VENTOUSE A FLOTTEUR avec tubulure de 0,081.
50k

POTEAU D'ARROSEMENT
440k

TRAPPES DE REGARD.

ORDINAIRES.			POUR TROTTOIRS.	
Châssis.	Tampons pleins.	Tampons à jour.	Châssis.	Tampons pleins.
360k	130k	115k	160k	90k

Digitized by Google

Les poids portés dans les tableaux ci-dessus comprennent une tolérance de *un vingtième* sur ceux donnés par le calcul, et représentent les poids *maximum* dont il pourra être tenu compte à l'entrepreneur.

En conséquence, chaque pièce sera comptée pour son *poids réel*, si ce poids est *inférieur* à celui porté au tableau; ou pour le *poids maximum*, si ce poids est dépassé.

Les pièces de forme particulière et inusitée seront seules comptées pour *leur poids réel*, pourvu que les dimensions portées sur les dessins cotés remis à l'entrepreneur n'aient pas été dépassées.

Art. 7. La fonte sera de la meilleure qualité, point aigre, bien homogène, susceptible d'être travaillée à la lime, sans fente ni écornure.

Les châssis et tampons pour trappes de regards seront fondus en *coquilles*.

Les autres pièces seront fondues dans des moules en sable.

Pour chaque série de pièces, il sera exécuté un modèle à Paris, aux frais de l'adjudicataire, sous la surveillance de l'ingénieur chargé du service de l'établissement de Chaillot.

Ces modèles seront disposés dans la prévision du retrait de la fonte, de telle sorte que les pièces coulées présentent les dimensions exactes exprimées aux dessins officiels remis à l'entrepreneur.

Tous les tuyaux droits seront coulés *debout*. Les tuyaux courbes et les pièces de forme particulière pourront seuls être coulés dans des moules horizontaux ou inclinés.

Le moulage devra être fait avec des précautions telles qu'il ne se trouve point de bavure à la paroi intérieure de l'emboîtement, ni à la paroi extérieure du bout mâle, ni à celle des brides. Toute bavure sera, en conséquence, burinée avec soin, et aux frais de l'adjudicataire.

Les parois intérieures des tuyaux devront être lisses et parfaitement nettoyées de sable.

Pour avoir la certitude que toutes les brides de même diamètre pourront se raccorder, le fournisseur fera couper des patrons en zinc de toutes les brides qu'il aura à faire, sur des modèles-étalons déposés à Chaillot.

Si les trous des brides sont plus petits qu'ils ne doivent être, le fournisseur les agrandira au burin, et à ses frais; s'ils ne sont pas entre eux à des distances égales, il les rectifiera aussi au burin.

Art. 8. Chaque tuyau portera le nom de l'adjudicataire et celui de l'usine dans laquelle il aura été fondu.

Il portera en outre, sur le filet de l'emboîtement ou sur celui de la bride, un mamelon à face supérieure plane de $0^m,08$ de diamètre, taraudé dans son centre, suivant un trou de $0^m,04$ de diamètre.

Ce taraudage sera fait par les soins de l'adjudicataire, conformément au taraud-étalon qui lui sera remis. Le trou sera exactement percé d'équerre à la surface du tuyau et la partie supérieure du mamelon légèrement fraisée, de manière à permettre la juste application du collet des bouchons métalliques. Cette main-d'œuvre est comprise, comme toutes les autres, dans le prix fixé pour le kilogramme de fonte.

Digitized by Google

Les bouchons métalliques destinés à l'obturation de l'orifice seront fabriqués à Paris, et restent en dehors de l'adjudication.

Art. 9. A une distance de 1 centimètre de leur origine, tous les emboîtements de tuyaux seront évidés suivant une surface annulaire de 0m,006 de diamètre.

Art. 10. L'adjudicataire sera soumis, à l'usine, aux vérifications que l'administration jugerait convenable d'ordonner pour s'assurer de la qualité de la fonte, et que toutes les précautions propres à garantir une bonne exécution sont prises, tant pour le parfait dressage des modèles que pour l'exact ajustement des châssis, et pour les soins de moulage et de percement.

Art. 11. Les commandes seront adressées à l'adjudicataire par l'ingénieur en chef directeur, qui lui fera connaître la nature et le nombre des pièces de fonte qu'il aura à fournir.

L'entrepreneur accusera réception desdites commandes dans un délai de huitaine.

Art. 12. Les livraisons seront faites par l'entrepreneur dans celui des dépôts de la Ville qui lui aura été indiqué, et ce dans un délai d'*un mois*, à partir du jour de la commande faite par l'ingénieur en chef directeur, sauf pour les six premiers mois de l'entreprise, pendant lesquels le délai de livraison sera de *deux mois*.

Les pièces de forme particulière, et pour lesquelles un prix plus élevé sera alloué à l'adjudicataire, devront être livrées dans le délai de quinze jours, à partir de celui de la remise du dessin coté.

Chaque livraison sera accompagnée d'une lettre de voiture indiquant le nombre et la nature des pièces fournies, ainsi que le numéro de la commande à laquelle ladite livraison se rapporte.

Art. 13. L'ingénieur pourra ne faire de réception que lorsque toutes les pièces d'une même commande seront fournies.

Il procédera alors, en présence de l'entrepreneur ou lui dûment appelé, aux vérifications et épreuves suivantes.

Il se fera présenter par lui chaque tuyau et le fera rouler, afin de pouvoir l'examiner tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, reconnaître ses défauts et mesurer ses dimensions.

L'entrepreneur fera placer ensuite le tuyau dans la position où il a été fondu, afin qu'en le frappant à petits coups de marteau on puisse reconnaître s'il s'y trouve des chambres ou des soufflures.

Toute pièce défectueuse ou n'ayant pas les dimensions et formes voulues sera refusée.

L'enlèvement des pièces rebutées sera à la charge de l'entrepreneur, qui sera tenu de les remplacer dans le plus court délai.

Tous les frais de pesée seront également à sa charge.

L'entrepreneur chargé de la pose des tuyaux les essayera isolément et successivement, en soumettant chacun d'eux à une charge d'eau de 100 mètres, au moyen d'une presse hydraulique.

Le fournisseur sera prévenu du jour où l'essai aura lieu, afin qu'il puisse y assister.

Lorsqu'il y aura suintement avec bouillonnement, quelque faible qu'il soit, et, à plus forte raison, si l'eau s'échappe par de petits jets, le tuyau sera rebuté.

Digitized by Google

Les frais d'essai de tous les tuyaux à fournir en remplacement des tuyaux rebutés resteront à la charge de l'entrepreneur.

Il sera dressé de chaque réception correspondant à chaque commande de l'ingénieur en chef directeur un procès-verbal que l'entrepreneur devra signer, ou au bas duquel il devra déduire ses motifs de refus dans le délai de dix jours, conformément à l'art. 32 des clauses et conditions générales.

Une expédition de ce procès-verbal sera remise à l'entrepreneur, et la minute restera entre les mains de l'ingénieur, pour servir à la rédaction du compte de l'entreprise.

Art. 14. On ne considérera comme approvisionnées que les fontes qui auront été reçues, et qui seront immédiatement prises en charge par le gardien du dépôt.

Aussitôt après la réception, l'entrepreneur sera mis en demeure, par ce seul fait, d'enlever les fontes rebutées dans un délai de huit jours. A l'expiration de ce délai, il sera passible d'une retenue de 1 franc pour chaque pièce non enlevée et par chaque jour de retard.

Le défaut d'enlèvement sera constaté par un procès-verbal dressé par l'agent chargé de la surveillance du dépôt.

Art. 15. A l'expiration des délais mentionnés à l'art. 12, l'entrepreneur sera passible, pour chaque jour de retard, d'une retenue de 1/2 pour 100 sur le montant de la fourniture correspondant à la commande, jusqu'à ce que la livraison soit complète, et quelque peu considérable que soit le nombre des pièces manquantes.

Indépendamment de cette retenue, l'administration pourra, si elle le juge convenable, faire compléter d'office les fournitures en retard aux risques et périls de l'adjudicataire, et, dans ce cas, la retenue cessera d'être appliquée à partir du jour où l'administration aura fait connaître qu'elle adopte ce parti.

Art. 16. L'entrepreneur, conformément à l'art. 34 des clauses et conditions générales, recevra des payements d'à-compte à raison de l'avancement de ses fournitures, et ce jusqu'à concurrence des 9/10es de la dépense faite et imputable sur chaque crédit du service municipal. La retenue du dernier dixième pour garantie ne sera néanmoins exercée que sur le montant des dépenses de chaque exercice, et ne se cumulera pas pendant toute la durée de l'entreprise.

Les payements de solde d'un exercice n'auront lieu que dans le courant du premier trimestre de l'exercice suivant.

Art. 17. L'adjudicataire ne pourra élever aucune réclamation au sujet des approvisionnements qui existeront dans les magasins au 1er avril 1853, ni au sujet des fournitures qui seront faites par l'entrepreneur sortant, en vertu de commandes antérieures à cette date.

Art. 18. L'adjudicataire sera tenu de reprendre, dans l'état où elles se trouveront, au prix n° 3 du bordereau joint au présent devis frappé *du rabais de l'adjudication*, les vieilles fontes mises hors de service, et ce jusqu'à concurrence du tiers au plus des fontes neuves fournies.

La valeur de ces vieilles fontes sera portée en déduction sur les états de dépenses

Digitized by Google

pour fournitures de fontes neuves, et leur enlèvement des dépôts sera aux frais de l'adjudicataire.

Art. 19. Il est expressément entendu que les prix consentis par l'adjudicataire ne pourront subir de changements dans aucun cas, quelles que soient d'ailleurs les variations que viendraient à subir les droits de douane, de navigation, d'octroi, etc.

Art. 20. Il sera dressé tous les mois un état des retenues que l'adjudicataire aura encourues par suite de l'application des art. 14 et 15. Cet état sera soumis à l'approbation de M. le préfet, après que l'adjudicataire aura été appelé à en prendre connaissance au bureau de l'ingénieur en chef directeur, et à produire ses observations dans un délai de cinq jours, à compter de la date de l'avis qui lui aura été donné.

Lesdites retenues sont prélevées sur le montant du premier payement à faire à l'entrepreneur.

En cas d'insuffisance de ce montant, elles seront prises sur le cautionnement.

Art. 21. Les dispositions de l'arrêté de M. le ministre des travaux publics, en date du 15 décembre 1850, modifiées par la circulaire du 22 octobre 1851, concernant les secours à accorder aux ouvriers en cas d'accident, étant applicables au service municipal, il sera fait à l'adjudicataire une retenue de 1 pour 100 sur le montant total des dépenses, pour assurer le service médical et le payement des secours à accorder aux ouvriers qui viendraient à être blessés, soit dans le transport, soit dans le chargement des pièces fournies.

En cas d'insuffisance du produit de cette retenue, il y sera pourvu par une allocation dont le montant, réglé par le préfet, sera prélevé sur le fonds des travaux.

Si ce produit excède, au contraire, les besoins constatés jusqu'à la fin de l'entreprise, l'excédant sera restitué à l'entrepreneur.

Art. 22. D'après la circulaire de M. le ministre des travaux publics, en date du 10 novembre 1851, il est expressément interdit à l'adjudicataire de faire, à Paris, aucun travail de main-d'œuvre ni transport les dimanches et jours fériés.

Tout travail exécuté contrairement à cette obligation ne serait pas compté à l'entrepreneur, qui en outre subirait une retenue de 50 fr. Cette retenue pourra être répétée autant de fois que l'infraction aura été régulièrement constatée.

Art. 23. L'adjudicataire sera tenu d'élire un domicile à Paris, où il sera représenté par un agent agréé par l'ingénieur en chef directeur, et où lui seront signifiés les ordres de service et actes administratifs relatifs à son entreprise.

Art. 24. L'adjudicataire sera soumis au cahier des charges imposées aux entrepreneurs du service municipal, ainsi qu'aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des ponts et chaussées, en toutes les dispositions auxquelles il ne serait pas dérogé par le présent devis.

Le présent devis dressé, etc.

Digitized by Google

166. Série de prix applicable aux fournitures de fontes à faire du 1er avril 1853 au 31 décembre 1856.

Les prix ci-dessous comprennent les faux frais et le bénéfice de l'entrepreneur, et seront frappés du rabais de l'adjudication.

	fr. c.
1. — Prix du kilogramme de fonte pour les diverses pièces énumérées à l'art. 1er du devis.	0,25
2. — Prix du kilogramme de fonte pour les pièces de forme particulière et les robinets-vanne	0,40
3. — Prix du kilogramme de vieille fonte reprise par l'entrepreneur.	0,10

La présente série de prix dressée, etc., etc.

---

167. Devis d'entretien des conduites et ouvrages accessoires servant à la distribution des eaux de Paris [1].

Art. 1er. L'entreprise a pour objet :

1° L'entretien, sous le rapport spécial de la fontainerie, des conduites et appareils de la distribution des eaux, tant à l'*intérieur* qu'à l'*extérieur* de la ville de Paris ;

2° L'exécution des travaux neufs dont la dépense, non compris la fourniture des fontes et des tuyaux de tôle et bitume, n'excède pas *dix mille francs*.

Les travaux de la première catégorie seront exécutés à forfait, moyennant des prix appliqués à tous les travaux de la distribution, suivant leur nombre ou leur quantité.

Ceux de la seconde catégorie seront exécutés dans les conditions ordinaires des travaux des ponts et chaussées, et payés aux prix du bordereau joint au présent devis.

Art. 2. La durée de l'entreprise est fixée à neuf ans et trois mois ; elle commencera le 1er octobre 1853, et finira le 31 décembre 1862.

Art. 3. Le nombre et la quantité des ouvrages auxquels le forfait est applicable, à l'origine du marché, sont fixés suivant l'état ci-dessous, sans que l'entrepreneur puisse élever de réclamation pour erreur ou omission.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS.
Mètres linéaires de conduites.....	312,000m
Bornes-fontaines (non compris le branchement)	1,733
Bouches d'eau sous trottoir *id.*	97
Poteaux d'arrosement *id.*	85
Boîtes d'arrosement *id.*	20
Bornes-fontaines à repoussoir *id.*	31
Coffres d'incendie *id.*	57
Bureau de stationnement avec citerne.....	1
Regards à cuvettes de distribution sans puisage.....	19
Fontaines monumentales.....	29
Fontaines de puisage à la sangle.....	71
Fontaines marchandes.....	13
Branchements pour service public.....	2,060

[1] Ce devis doit remplacer celui qui est en vigueur et qui doit prochainement expirer.

Digitized by Google

Il sera tenu compte, aux conditions stipulées par l'article 10 ci-après, des augmentations et diminutions qui surviendront dans le développement des conduites, dans le nombre des bornes-fontaines, robinets, etc., et autres appareils.

En sus de la somme qui résultera de l'application des prix de la série aux quantités portées à l'état de récolement, il sera alloué une somme de 6,000 fr. par an pour frais généraux, dont il n'a pu être tenu compte dans les prix particuliers.

Cette somme, qui ne variera pas dans la durée du bail, sera, comme tous les autres prix, sujette au rabais.

L'application des prix de la série aux quantités ci-dessus porte le forfait à 64,790 fr. C'est sur ce chiffre que sera calculée la somme à payer pour le premier trimestre du bail, du 1er octobre au 31 décembre 1853.

Art. 4. Le cautionnement est fixé à la somme de *quatre mille cinq cents francs.*

Il sera fourni, soit en numéraire, soit en obligations de la Ville, ou en rentes calculées au pair.

Si le cautionnement est fait en argent, l'entrepreneur en recevra l'intérêt à 3 pour 100; s'il est fait en rentes, il en recevra les arrérages.

Ce cautionnement ne sera restitué à l'entrepreneur qu'après la remise en bon état du matériel, et la réception définitive dont il est fait mention à l'article 45 ci-après.

Art. 5. L'administration se réserve la faculté de faire expérimenter, soit par les inventeurs eux-mêmes, soit par des entrepreneurs de son choix, tout système nouveau de tuyaux, robinets ou autres appareils de distribution de l'établissement, et de l'entretien desquels l'entrepreneur pourra ensuite être chargé à des prix débattus, après reconnaissance des avantages et du bon usage de ces nouveaux systèmes.

Art. 6. L'entrepreneur sera chargé de greffer les branchements particuliers sur les conduites de la Ville, et d'exécuter les portions desdits branchements comprises entre la prise d'eau et le robinet sous-bouche à clef.

Si l'administration décide ultérieurement que ces branchements seront établis et entretenus aux frais de la Ville jusqu'au point où ils pénètrent dans les propriétés, l'entrepreneur sera chargé des travaux de premier établissement et d'entretien.

Dans l'un et l'autre cas, lesdits travaux lui seront payés au prix du bordereau joint au présent devis, diminué du rabais de son adjudication.

Art. 7. Les travaux relatifs à l'exécution de cette partie de l'entreprise comprennent :

1° L'entretien des conduites de toutes natures et de leurs accessoires immédiats, tels que soupapes de prise d'eau, ventouses, clapets, robinets ordinaires d'arrêt et de décharge, robinets-vanne, et autres pièces, etc., etc. ;

2° L'entretien et le nettoiement des ouvrages relatifs à la distribution directe des eaux, tels que bornes-fontaines ordinaires à repoussoir, bouches d'eau sous trottoirs, poteaux et boîtes d'arrosement, coffres d'incendie, effets d'eau des urinoirs, réservoirs métalliques, cuvettes, bondes et soupapes des réservoirs, mécanismes et appareils hydrauliques des fontaines monumentales, des fontaines pour le puisage à la sangle, et des fontaines marchandes.

Digitized by Google

3° Les manœuvres d'eau et autres mains-d'œuvre indiquées dans les articles ci-après.

Le tout ainsi qu'il est expliqué plus en détail dans les articles 11, 12, etc., etc., jusqu'au 18 inclusivement.

Art. 8. Sont exceptés du forfait :

1° Les réservoirs, conduites montantes et appareils intérieurs des établissements où sont élevées les eaux, tels que les pompes à feu de Chaillot et du Gros-Caillou, l'Abattoir de Grenelle, les machines à vapeur du quai d'Austerlitz et du Dépotoir ; mais l'entretien des conduites de distribution et de leurs accessoires même pour les parties à l'intérieur de ces établissements reste à la charge de l'adjudicataire ;

2° Les branchements qui desservent des concessions particulières ;

3° Le nettoiement des aqueducs, galeries, fontaines de toute espèce, réservoirs en maçonnerie ou autres : l'entrepreneur fournira seulement, aux prix du bordereau, les balais, rabots, etc., etc., nécessaires pour cet entretien ;

4° La serrurerie proprement dite, c'est-à-dire celle qui constitue la clôture des établissements hydrauliques ;

5° Le renouvellement des réservoirs et cuvettes métalliques, ainsi que la restauration des objets d'art accessoires à la fontainerie ;

6° Le renouvellement des pièces volées, à moins que le vol ne soit le fait des ouvriers de l'entrepreneur, ou le résultat de la négligence de ses agents.

Et généralement toute construction ou tout travail qui aurait pour but d'apporter un changement dans la disposition actuelle des établissements hydrauliques, ou des distributions d'eau, et non pour objet d'amener la réparation ou le renouvellement des pièces avariées.

En dehors des restrictions spécifiées ci-dessus, l'entrepreneur demeure chargé de l'entretien de tout matériel du service de la distribution, de telle sorte que, moyennant la somme qui lui est allouée à titre de *forfait*, toutes les dépenses à faire pour maintenir ce matériel *en parfait état* restent exclusivement à sa charge, sans qu'il puisse élever aucune réclamation à ce sujet.

Art. 9. L'entrepreneur prend les conduites, appareils et établissements hydrauliques détaillés à l'article 3, dans l'état où ils se comportent, et demeure chargé de leur entretien, sans pouvoir élever aucune réclamation ni prétendre à aucune indemnité à raison d'inexactitude ou d'oubli dans la désignation et dans l'énumération des pièces.

Ces états ne comprennent pas les conduites et appareils posés en 1852, en 1853, du bon état desquels le sieur Bonnin, entrepreneur sortant, demeure garant, aux termes de son marché, jusqu'au 1er janvier 1854, pour les travaux faits par lui en 1852, et jusqu'au 1er janvier 1855 pour ceux faits en 1853.

Ce ne sera qu'à partir de l'une et de l'autre de ces deux époques que le nouvel entrepreneur prendra l'entretien desdites conduites et appareils, dont il lui sera alors tenu compte, conformément aux conditions stipulées dans l'article ci-après.

Ces états ne comprennent pas également les conduites et appareils de distribution situés dans les abattoirs de la ville de Paris, et dont, suivant la demande faite par le bu-

Digitized by Google

reau des perceptions municipales, le 6 du courant, l'entrepreneur doitêtre chargé Cette décision étant très-récente, on n'a pu encore depuis inventorier ces conduites et appareils ; mais dans le courant de la première année du présent bail il sera dressé, contradictoirement, un état de ces conduites et appareils, et il sera tenu compte de leur entretien au prix du bordereau.

Art. 10. Il sera dressé, à la fin de chaque année, un état des additions ou suppressions qui auront été faites aux conduites ou appareils de distribution des eaux de la Ville, portés aux états de récolement ci-annexés ; la somme à payer à forfait l'année suivante sera réglée, d'après ces états, en appliquant aux longueurs des conduites et au nombre des divers appareils ajoutés ou retranchés les prix du bordereau, nos 2, 3, 4 et suivants, jusqu'au no 11 inclusivement. Ces prix ne sont pas d'ailleurs uniquement applicables à l'objet nominativement désigné, ils comprennent l'entretien de tous les accessoires, en sorte qu'il ne sera rien alloué pour toutes autres additions ou modifications apportées aux *appareils* hydrauliques.

Art. 11. L'entrepreneur devra se conformer, pour les diverses réparations à effectuer, aux dispositions qui lui seront indiquées, et les exécuter suivant les prescriptions du chapitre II ci-après, relatif aux travaux neufs.

Conduites en plomb. — La réparation des conduites en plomb comprend la fourniture des bouts de tuyaux neufs de même métal qu'il pourrait être nécessaire de substituer à des portions de vieux tuyaux, ainsi que tous les frais relatifs à la pose de ces bouts.

Conduites en fonte. — La réparation des conduites en fonte comprend la fourniture des tuyaux, manchons [1], brides, colliers, boulons, vis de serrage, rondelles en plomb et en cuir, cordes goudronnées, glaise, et généralement tous les matériaux et toutes les mains-d'œuvre nécessaires pour raccorder les tuyaux d'une manière solide et durable. Les manchons devront être posés avec les précautions indiquées au chapitre II, pour la pose des tuyaux.

Conduites en tôle et bitume. — Lorsqu'une fuite se manifestera sur une conduite en tôle et bitume, le bitume sera d'abord enlevé sur peu d'étendue, avec un fer chaud ; si la fuite est peu large, on se contentera de gratter et décaper la tôle, et d'y rapporter un grain de soudure. Si la fuite est large, on couvrira la déchirure par une plaque de plomb, après avoir étamé la tôle sur les bords, et on la soudera.

Le bitume sera remis en le liquéfiant et en l'employant, comme la soudure, dans la confection des nœuds, en se servant d'un chiffon mouillé au lieu d'un chiffon gras.

Si un tuyau de tôle et bitume est à remplacer, on enlèvera le bitume, on coupera le tuyau transversalement, à la scie, à deux endroits distants d'environ 0m,20 ; on dévissera les deux côtés, et on rapportera sur chaque pas de vis une bride, qui permettra de poser un tuyau à double bride.

[1] Pendant les trois premiers mois du présent bail, l'entrepreneur sera autorisé à prendre, dans les magasins de la Ville, les pièces de fonte nécessaires aux réparations des conduites. Ces pièces devront être restituées au dépôt de Chaillot dans les trois mois suivants.

Digitized by Google

Si le vieux tuyau ne pouvait se diviser, on le couperait à la scie, et on remplacerait la partie enlevée par deux manchons en tôle, se vissant l'un dans l'autre, que l'on souderait à leurs extrémités avec les deux parties de conduite conservées.

La réparation des conduites en tôle et bitume comprend également la fourniture des tuyaux, brides et manchons, ainsi que les matériaux et mains-d'œuvre nécessaires à ces réparations.

Les vieux matériaux provenant des réparations de ces diverses espèces de conduites appartiendront à l'entrepreneur.

Les remplacements et renouvellements de conduites par d'autres de même métal ou de métal différent, ordonnés par l'administration, constituent des travaux neufs en dehors du forfait, lesquels seront exécutés conformément aux conditions stipulées dans le chapitre suivant, et dont l'entrepreneur sera payé au prix du bordereau annexé au présent devis. Dans ce cas, les vieux matériaux provenant de ces travaux resteront la propriété de la Ville, et seront transportés dans les dépôts du service. Les prix de ces transports seront payés à l'entrepreneur.

Art. 12. L'entretien comprend le renouvellement intégral, non-seulement des pièces accessoires, mais encore des pièces entières qui ne peuvent plus être réparées, telles que coffres d'incendie, bouches d'eau sous trottoir, robinets en cuivre, ferrure et robinets des bornes-fontaines et des poteaux d'arrosement, etc. Sont seulement exceptés les enveloppes extérieures en fonte des bornes-fontaines et poteaux d'arrosement, ainsi que les diverses pièces faisant partie des robinets-vanne, des soupapes et des ventouses fournies par l'administration; mais, sauf ce renouvellement, tous les autres frais pour l'entretien en bon état de ces appareils font partie du forfait.

Si la nouvelle pièce est du même modèle que l'ancienne, son poids ne devra pas différer de plus de 1/20 en plus ou en moins du poids normal, c'est-à-dire de celui qui résulte d'une exécution conforme aux dessins, et il ne sera pas tenu compte à l'entrepreneur de l'excédant de poids, le cas échéant.

Si la nouvelle pièce est d'un modèle différent de celui de la pièce supprimée, ou des pièces usitées jusque-là dans le service, les frais de modèle seront payés une première fois à l'entrepreneur, auquel il sera en outre tenu compte de l'excédant de poids au prix de son marché, si la nouvelle pièce est d'un poids supérieur à celui de la pièce supprimée. Si, au contraire, elle est d'un poids inférieur, quoique conforme au modèle, l'entrepreneur bénéficiera de la différence.

Les vieilles pièces ainsi renouvelées par l'entrepreneur demeurent sa propriété; mais il ne peut être admis à réclamer sur la différence de valeur du métal enlevé, par exemple, sur la différence de valeur du bronze et du laiton.

Art. 13. L'entrepreneur est obligé d'entretenir constamment en parfait état de propreté :

1° Les regards et puisards;

2° Les réservoirs et cuvettes métalliques, ou à simple revêtement métallique, ainsi que tous les autres appareils de distribution placés à l'intérieur des fontaines monumentales, publiques ou marchandes;

Digitized by Google

3° L'intérieur ou l'extérieur des bornes-fontaines, bouches d'eau sous trottoirs, poteaux d'arrosement et autres accessoires de la distribution.

Le nettoiement sera opéré une fois par mois pour les regards et puisards, tous les deux mois pour les réservoirs et cuvettes métalliques, et tous les six mois pour les bornes-fontaines.

L'entretien de la peinture des bornes-fontaines, poteaux d'arrosement et boîtes d'incendie, est une des charges du forfait. En conséquence, tous ces appareils devront être repeints à neuf, c'est-à-dire grattés à vif et recouverts d'une couche de minium et de deux couches vert-olive, de nuances différentes, une fois tous les trois ans.

Cette opération sera faite, pour la première fois, au printemps de 1854 ; puis, tous les ans, au printemps, l'entrepreneur fera nettoyer à la brosse et à l'eau, et recouvrir d'une couche de peinture vert-olive tous lesdits appareils de distribution indistinctement. Il sera naturellement dispensé de cette main-d'œuvre l'année où il fera gratter et repeindre à trois couches tous ces appareils.

Art. 14. L'entrepreneur devra maintenir toutes les bouches à clef, même celles appartenant aux particuliers, au niveau du sol, et de manière à assurer toujours la manœuvre facile des robinets. Toutefois ce travail ne sera pas à ses frais en cas de changements ordonnés par l'administration dans le relief des chaussées, trottoirs, contre-allées, etc., etc.

Tous les autres travaux relatifs à l'entretien des bouches à clef *appartenant aux particuliers* ne le concernent pas non plus.

Art. 15. Indépendamment de toutes les fuites apparentes qui devront être réparées avec solidité, l'entrepreneur est tenu de faire, à ses frais, toutes les recherches et expériences nécessaires pour découvrir les pertes d'eau cachées ou les engorgements de toutes natures, de pourvoir à la réparation des unes et à la suppression des autres[1], en sorte que le service ne souffre, en aucun temps, de ces divers inconvénients.

Si, pour reconnaître sur quelles conduites existent les fuites, des manœuvres sont nécessaires, elles seront faites par les agents du service, auxquels l'entrepreneur devra adjoindre, à ses frais, les ouvriers nécessaires.

Chaque fois que le signalement d'une fuite sera donné à l'entrepreneur, il devra aussitôt faire les fouilles nécessaires pour la découvrir et la réparer.

S'il est reconnu qu'il n'existait pas de fuite, il sera tenu compte à l'entrepreneur des dépenses faites par suite de cette fausse indication.

Pour prévenir les engorgements, l'entrepreneur est tenu, à chaque réparation, ou sur l'ordre qui lui en est donné, de manœuvrer les décharges des conduites pour emporter les poissons, vases, sables, etc., etc., qui les obstruent.

Les dégorgements des robinets, ventouses, bornes-fontaines, bouches d'eau sous trottoirs, poteaux d'arrosement, coffres d'incendie, effets d'eau d'urinoirs, etc., etc., sont toujours à la charge de l'entrepreneur, quelle que soit la cause qui les produise.

[1] Ne sont pas considérés comme engorgements les dépôts calcaires qui se forment à la longue sur les parois des tuyaux.

Digitized by Google

Si, par suite de l'existence ou de la réparation d'une fuite ou d'un engorgement, la conduite réparée ou les conduites voisines éprouvaient un affaissement ou une rupture, l'entrepreneur sera tenu de découvrir les parties de ces conduites affaissées ou détériorées, et de les remettre en bon état, ainsi que les agrès qui en dépendent.

Tous les frais, quels qu'ils soient, résultant de ces recherches et réparations, restent à sa charge, y compris ceux de l'épuisement dans les caves, jusqu'à leur mise à sec.

Art. 16. L'entrepreneur demeure chargé de remblayer toutes les tranchées ouvertes par lui sur la voie publique.

Les remblais seront en terres bien purgées de pierres, et faits par couches de dix centimètres d'épaisseur au maximum, pilonnées avec le plus grand soin, et arrosées [1].

Il devra ensuite rétablir, soit le dallage, soit le pavage ou l'empierrement, en employant les mêmes matériaux.

Les pavés seront posés en suivant les rangées et les dalles d'après leur appareil ; le bitume sera relevé et rangé de manière à éviter la déperdition de la matière. L'empierrement ou la terre (si la tranchée est faite sur une partie en terre) sera fortement pilonnée et arrosée [1].

Tous ces travaux devront être faits avec assez de soin pour que la circulation ne soit pas gênée, et que les matériaux ne soient pas détériorés, jusqu'au moment où les entrepreneurs ordinaires du service pour pavage, trottoirs, etc., etc., procéderont, aux frais de la Ville, à l'exécution du travail définitif de réfection des parties tranchées.

L'entrepreneur pourra recevoir l'ordre de refaire les travaux spécifiés ci-dessus, lorsque le lendemain de leur exécution la surface du sol présentera des enfoncements ou des bosses de plus de cinq centimètres sur les pavages et empierrements, et de plus de deux centimètres sur les dallages ; et, en cas de non-exécution, il sera passible de l'amende spécifiée à l'article ci-après, n° 41.

Art. 17. Les manœuvres à blanc des robinets-vanne, celles des robinets coniques en cuivre, et des soupapes, seront faites une fois par mois, aux époques et dans les délais qui seront fixés par l'inspecteur des eaux.

Toutes les manœuvres d'eau seront exécutées sous la surveillance des piqueurs-visiteurs.

Tous les frais d'éclairage, de bottes, d'huile, de graisse, d'outils, etc., etc., qui se rattachent à ce travail, seront à la charge de l'entrepreneur.

Chaque équipe employée auxdites manœuvres devra comprendre, entre autres ouvriers, un poseur exercé à ce genre d'opérations.

Art. 18. Lorsque, pour cause de gelée, on devra arrêter le cours des eaux, l'entrepreneur sera tenu de fournir, toutes les fois qu'il en recevra l'ordre, le nombre d'hommes nécessaire pour l'ouverture des robinets, pour la mise en décharge et la remise en service des conduites, ainsi que pour dégeler et manœuvrer les bornes-fontaines, lever les trappes, etc., etc.

[1] A cet effet, il sera remis à l'entrepreneur une clef de borne-fontaine, dont il ne pourra se servir pour aucun autre usage que pour ces travaux, sous peine d'une amende de 100 francs pour chaque infraction constatée.

Digitized by Google

Il devra également fournir la paille, les fagots, le charbon, etc., etc., pour échauffer, dégeler les agrès de la distribution.

Les dépenses qui résulteront de ces manœuvres ne sont pas comprises dans le forfait, et il en sera tenu compte à l'entrepreneur, au prix du bordereau ci-annexé.

Quant aux fontaines marchandes, fontaines de puisage à la sangle, et fontaines monumentales que l'on jugera à propos de conserver en activité pendant les gelées, l'entrepreneur fournira, à ses frais, un nombre suffisant d'ouvriers pour casser la glace des réservoirs et autres dépendances en dehors de la voie publique. L'enlèvement des glaces sera aussi à sa charge.

Il fera vider d'eau et de glace les bassins et les vasques des autres fontaines, et enlever les immondices provenant du déglacement.

Enfin, pour les fontaines marchandes, il fera casser et enlever les glaces qui se formeront aux abords.

Chaque fois qu'il n'aura pas satisfait, dans les délais fixés, aux ordres qu'il aura reçus, la réparation des accidents survenus aux conduites et à leurs dépendances et accessoires, par le fait de la gelée, demeurera à sa charge.

Il devra, d'ailleurs, s'assurer toujours que les appareils sont en état de fonctionner en cas d'incendie.

Art. 19. Les travaux neufs consistent généralement en pose ou renouvellement de conduites, soit sous galerie, soit en terre. Dans le premier cas, le service des ateliers se fera, autant que possible, par les trappes de regard. Dans le second, l'entrepreneur procédera d'abord à l'ouverture de la tranchée, suivant le tracé et la profondeur donnés par l'ingénieur, et en ayant soin de ranger les terres et les matériaux, qu'il sera tenu de remettre en place, en se conformant aux conditions détaillées à l'article 16 ci-dessus. S'il est reconnu que les déblais ne peuvent pas, sans inconvénient, rester sur le chantier, l'entrepreneur sera tenu de les transporter dans tel endroit qui lui conviendra, pour les reprendre ensuite et les remployer.

Art. 20. Les tuyaux seront descendus avec soin dans les galeries ou dans les tranchées où ils devront être placés. Ils seront assemblés, soit par des joints à emboîtement, soit par des joints à bride, s'il s'agit de tuyaux en fonte, ou simplement vissés à refus s'il s'agit des tuyaux en tôle et bitume, en ayant soin d'opérer le serrage de telle sorte que le mamelon pratiqué sur chaque tuyau soit en dessus.

Joints à emboîtement. — La pénétration des deux tuyaux consécutifs sera moindre que la profondeur de l'emboîtement, de manière à laisser un centimètre de jeu pour la dilatation; on aura soin de placer en dessus la portion de l'emboîtement qui portera le tampon métallique. Le bout mâle de chaque tuyau sera engagé dans le renflement du tuyau suivant, de manière à rendre régulier l'intervalle compris entre les parois intérieures de l'un et les parois extérieures de l'autre. Cet intervalle sera rempli partie avec de la corde imprégnée de goudron de résine, partie avec du plomb fondu. La profondeur du joint en plomb sera de $0^m,04$. La corde roulée régulièrement autour du bout mâle sera matée au refus, et disposée de manière à laisser un vide de profondeur uni-

Digitized by Google

forme pour recevoir le plomb, lequel sera lui-même maté après le refroidissement, de telle sorte que les joints soient parfaitement étanches.

Joints à brides. — Dans la confection de ces joints, on laissera entre les brides un intervalle suffisant pour recevoir une rondelle en plomb convenablement dressée, et enduite sur les deux faces d'une couche de mastic ou de minium. Les rondelles auront la forme d'un anneau plat, dont le diamètre intérieur sera égal à celui des tuyaux à raccorder, et dont le diamètre extérieur sera calculé de manière à affleurer les trous des boulons. Ces rondelles auront en général $0^m,012$ d'épaisseur uniforme. Lorsqu'elles devront être biaises, leur épaisseur sera variable et déterminée par l'obliquité à donner aux tuyaux; toutefois, elles ne devront pas avoir, au point le plus mince, moins de $0^m,01$ d'épaisseur.

Les boulons destinés à relier les brides des tuyaux auront $0^m,018$ de diamètre, avec une partie carrée près de la tête ; ils seront faits et filetés avec le plus grand soin. Ces boulons seront serrés graduellement les uns après les autres, jusqu'au refus, et la rondelle sera refoulée avec un ciseau à mater, afin de rendre le joint parfaitement étanche.

Joints de divers systèmes. — L'entrepreneur devra, s'il est fait emploi de joints de forme particulière ou d'un système nouveau, se conformer aux instructions qui lui seront données.

Art. 21. La pose, soit en tranchée, soit en galerie, sera payée au mètre courant, quels que soient d'ailleurs le mode d'assemblage des tuyaux, la sujétion dans les parties courbes, etc., etc.

En conséquence, on mesurera les longueurs totales des conduites posées, et l'on appliquera à ces longueurs les prix portés au bordereau.

Le prix payé pour le mètre linéaire de conduite posée en terre comprend le déblai de la tranchée, calculé sur une profondeur moyenne de $1^m,40$, mesurée à partir du dessus du tuyau. L'excédant, s'il y a lieu, sera payé aux prix portés au bordereau.

En conséquence, on mesurera en cours d'exécution la profondeur de la fouille partout où il y aura changement d'inclinaison, soit dans le profil longitudinal de la conduite, soit dans celui du sol sous lequel elle sera placée, et l'on prendra, pour la profondeur moyenne correspondant à chaque longueur partielle, la demi-somme des profondeurs mesurées aux extrémités.

La pose des robinets-vanne sera payée à part, bien que leur épaisseur soit comprise dans la longueur des conduites mesurées, ainsi qu'il vient d'être dit. On a eu égard à cette circonstance dans l'établissement du prix de pose des robinets-vanne.

Art. 22. Avant de recouvrir de terre chacune des portions de conduites nouvellement posées, on y mettra l'eau, et on leur fera éprouver, à l'aide d'une pompe de presse hydraulique, une pression équivalente à huit atmosphères.

L'entrepreneur devra exécuter immédiatement, et à ses frais, les travaux de réparation, quels qu'ils soient, que cette épreuve aura fait reconnaître nécessaires.

Il sera ensuite procédé à une nouvelle épreuve, toujours équivalente à la même charge.

Digitized by Google

Art. 23. Pour déplacer les conduites devenues inutiles, l'entrepreneur ouvrira une tranchée aussi droite que faire se pourra, en ayant soin de ranger les pavés au bord de la tranchée avec les précautions convenables. Il déboîtera ensuite les tuyaux, de manière à éviter toute rupture. Lesdits tuyaux seront alors nettoyés intérieurement et extérieurement, puis enlevés et transportés dans les magasins de la Ville. La tranchée sera remblayée avec les soins indiqués à l'article 16 ci-dessus.

La dépose des conduites sera, comme la pose, comptée au mètre linéaire, d'après leur diamètre, mais sans tenir compte de la profondeur de la fouille. Le plomb et la corde goudronnée contenus dans les joints seront abandonnés à l'entrepreneur, ainsi que les menues ferrures; mais les tuyaux et les appareils de fontainerie resteront à la Ville.

Art. 24. Pour les prises d'eau à effectuer sur mamelon, tubulure ou percement de tuyau, ainsi que pour la pose des plaques pleines à l'extrémité des conduites, l'entrepreneur devra prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter les fuites, et se conformer aux instructions qui lui seront données par les agents du service municipal. Les percements sur conduites de fonte ne seront considérés comme terminés que lorsqu'ils seront jaugés au calibre voulu, et que leurs bords seront francs et nets de toute bavure. Ceux sur conduite de tôle et bitume devront toujours être faits au trépan, et le bitume devra toujours être rétabli sur la soudure du tuyau de prise.

Art. 25. L'entrepreneur sera tenu d'exécuter les travaux de fontainerie, tôlerie et serrurerie, autres que ceux de pose de conduites qui lui seront ordonnés, en se conformant :

1° Aux projets de détail et aux dessins cotés qui lui seront remis ;

2° Au mode d'exécution décrit pour chaque nature d'ouvrages dans le cahier des charges imposées aux entrepreneurs du service municipal, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la ville de Paris.

Art. 26. L'entrepreneur sera chargé de l'essai des tuyaux, soit en fonte, soit en tôle et bitume, et des robinets qui seront employés dans les prolongements ou renouvellements des conduites. Ces tuyaux et robinets seront soumis, dans les dépôts du service, à l'aide d'une pompe de presse hydraulique, à une pression équivalente au poids d'une colonne d'eau de 100 mètres de hauteur.

Cette opération sera faite en présence du fournisseur ou de son fondé de pouvoirs.

Les prix portés à la série comprennent tous les faux frais.

La presse hydraulique et les compas d'épaisseur seront seuls fournis par l'administration. L'entrepreneur sera tenu de les rendre en bon état.

La presse hydraulique nécessaire aux essais de conduite dont il est fait mention à l'article 22 sera, au contraire, fournie par l'entrepreneur.

L'entrepreneur est responsable de toutes les avaries qui surviendront aux tuyaux, robinets-vanne ou autres appareils, à partir du moment où ils lui auront été livrés. L'administration retiendrait, en conséquence, sur les sommes à lui dues la valeur totale de toute pièce brisée ou détériorée.

Digitized by Google

Art. 27. L'entrepreneur se pourvoira, à ses frais, des emplacements nécessaires pour le dépôt de ses matériaux.

Les dispositions nécessaires pour assurer l'accès des propriétés particulières pendant l'ouverture des tranchées, telles que l'établissement des ponts, passerelles provisoires, barrières, etc., etc., demeureront entièrement à sa charge : il devra en outre satisfaire à toutes les charges et prescriptions de police, et notamment aux ordonnances des 8 août 1829 et 29 mai 1833.

Toute fausse manœuvre qui aurait lieu pour cet objet, telle que dérangement de matériaux et comblement de fouilles à l'occasion d'une fête ou de passage de cortége, ou par mesure de sûreté publique, demeure entièrement à sa charge. Il sera enfin tenu à tous dommages-intérêts, tant envers les particuliers qui auraient éprouvé des accidents ou des pertes, qu'envers les propriétaires ou locataires de maisons et terrains dégradés ou en souffrance, sans qu'il puisse, dans aucun cas, en rejeter la responsabilité sur l'administration, qui laisse les clôtures, étayements, etc., etc., à sa discrétion.

Toutefois, en cas de péril, les ingénieurs pourront ordonner des mesures de sûreté, sans que l'entrepreneur puisse réclamer à ce sujet.

Art. 28. L'entrepreneur supportera tous les frais d'épuisement et de batardeau nécessités par l'exécution de ses travaux, et sera responsable envers les tiers, en cas d'accident, à raison des dommages que les eaux pourraient causer.

Art. 29. Les travaux d'entretien proprement dits étant exécutés à forfait, et l'entrepreneur demeurant garant de leur bonne exécution pendant la durée de son marché, les matériaux qui seront employés dans lesdits travaux ne seront généralement soumis à aucune réception préalable. Cependant les agents de l'administration pourront, lorsqu'ils le jugeront convenable, exiger que les robinets, mécanismes et autres appareils leur soient présentés avant la pose, afin qu'ils puissent s'assurer qu'ils satisfont aux conditions de poids, de forme et de composition de métal imposées à l'entrepreneur.

En ce qui concerne les travaux neufs, les matériaux seront soumis, avant leur emploi, à la réception provisoire de l'agent délégué par l'ingénieur. Ces matériaux, consistant le plus souvent en métaux de différentes espèces, l'entrepreneur sera tenu d'avoir toujours, sur ses ateliers, les balances et instruments de pesage nécessaires pour vérifier les poids.

Dans le cas où il serait reconnu que des matériaux rebutés, ou autres que ceux reçus, auraient été mis en œuvre, le remplacement en serait effectué par l'entrepreneur, qui supporterait en outre la dépense de main-d'œuvre que ce travail pourrait nécessiter.

En cas de contestation entre l'entrepreneur chargé de procéder à la réception des matériaux, il en sera référé à l'ingénieur de la section, qui prononcera définitivement.

Art. 30. Les soudures seront composées d'un tiers de bon étain et de deux tiers de plomb.

L'entrepreneur devra se conformer au tarif suivant, qui règle les quantités de soudures à employer.

Digitized by Google

DIAMÈTRE des TUYAUX, ROBINETS, soupapes et bondes de fond.	POIDS des NŒUDS DE TUYAUX, robinets et embranchements de prise d'eau.	POIDS DES SOUDURES de soupapes, bondes de fond et empatements, pour rondelles rapportées.	POIDS DES SOUDURES longitudinales, par mètre linéaire de tuyaux.
m	k	k	k
0,02	1,00	0,60	»
0,025	1,40	0,90	»
0,027	1,50	1,00	»
0,034	1,90	1,10	»
0,041	2,25	1,20	»
0,05	2,80	1,40	»
0,054	3,00	1,50	»
0,06	3,25	1,60	»
0,068	3,50	1,70	»
0,081	4,50	2,25	»
0,10	5,25	2,60	»
0,108	6,00	3,00	»
0,135	7,50	4,00	5,25
0,162	9,00	5,00	6,00
0,190	11,00	6,00	6,75
0,216	13,00	7,00	7,50
0,25	15,00	8,00	8,25

Pour les diamètres plus considérables, le poids des soudures sera calculé d'après les bases ci-dessus, proportionnellement à la longueur des soudures.

Les soudures des moises ou attaches des tuyaux qui enveloppent entièrement leurs circonférences seront comptées comme les soupapes et bondes de diamètre correspondant, et lorsque ces soudures n'embrassent qu'une partie de la circonférence desdits tuyaux, elles ne seront comptées que proportionnellement à leur développement.

Soudures dans les réservoirs. — Les soudures plates, traînées de fond ou sur les côtés, seront comptées, par mètre courant, 5 fr.

Les soudures d'angles montants et dans la ceinture, 6 fr.

Soudures de cuvettes de distribution. — Les soudures de languettes de pourtour du fond et de leurs montants, soit que lesdites languettes soient en plomb ou qu'elles soient en cuivre, seront comptées par mètre courant pour 2 fr. 50 c.

Les soudures de languettes de séparation des bassinets, 1 fr. 50 c.

Les soudures qui se trouveront attachées aux vieux plombs donnés à l'entrepreneur pour remploi lui seront comptées pour moitié du poids fixé par le présent tarif, et l'autre moitié fera partie des pesées de plomb.

Art. 31. L'alliage de cuivre, qui sera exclusivement employé pour la robinéterie et pour toutes les pièces accessoires de distribution, sera celui qui est connu dans le commerce et dans les arts sous le nom de bronze. On ne fera usage de l'alliage de cui-

Digitized by Google

vre dit laiton ou cuivre jaune que sur les indications spéciales des ingénieurs et inspecteurs.

Le bronze sera généralement composé de.

100	parties de	cuivre	en poids.
10	—	d'étain	
6	—	de zinc	

Telle sera la composition des clefs dans les robinets coniques, des vis dans les robinets-vanne, etc., etc.

Cependant, comme on doit éviter de composer les pièces qui frottent avec des alliages identiques, le bronze entrant dans la construction des boisseaux, des robinets coniques, des écrous, des robinets-vanne, etc., pourra être formé de :

100	parties	de cuivre.
10	—	de zinc.
6	—	de plomb.
2	—	d'étain.

Enfin le laiton exceptionnellement employé sera composé de :

100	parties	de cuivre.
50	—	de zinc.
8	—	d'étain.

Art. 32. L'entrepreneur sera tenu de fournir aux ingénieurs et aux inspecteurs un échantillon de chaque espèce des soudures ci-dessus désignées, lequel sera estampé après avoir été reconnu conforme aux poids prescrits par le tarif.

Cet échantillon servira de vérification des soudures que l'entrepreneur sera dans le cas d'exécuter, et les ingénieurs et les inspecteurs auront la faculté de faire dessouder celles qui leur paraîtront inférieures en poids à l'échantillon reconnu. Les frais de cette main-d'œuvre, ainsi que ceux du rétablissement des soudures, seront à la charge de l'entrepreneur, si le poids est inférieur aux stipulations du tarif.

L'entrepreneur déposera également, aux bureaux des ingénieurs et inspecteurs, des échantillons de bronze et de laiton, pour servir à la vérification des fournitures ultérieures.

En cas de fraude constatée dans la composition des soudures et des alliages, l'entrepreneur sera passible d'une amende de *cinq cents francs*.

S'il conteste l'analyse faite par les ingénieurs du service, l'opération sera refaite par les essayeurs de la Monnaie, qui prononceront en dernier ressort.

Art. 33. L'entrepreneur fera transporter dans les dépôts du service les vieux matériaux et autres objets appartenant à la ville.

Il devra toujours avoir sur les ateliers les moyens de peser ces objets, et un pot à l'huile pour les marquer.

Les voitures qui seront employées à ces transports seront munies d'une plaque à l'huile, portant *Service municipal*, peinte en blanc, en caractères très-apparents, sur un fond noir. La plaque portera en outre le nom et la demeure de l'entrepreneur.

Digitized by Google

La voiture devra toujours se rendre directement au dépôt désigné sur la lettre de voiture qui sera remise au charretier. L'entrepreneur sera responsable des objets inscrits sur cette lettre de voiture, qui sera présentée à l'acceptation de son chef d'atelier. Il devra justifier de la remise au dépôt par un reçu du garde-magasin. En cas de non-justification, il deviendra responsable de la valeur des objets enlevés, valeur qui sera arbitrée par l'ingénieur en chef de la division, nonobstant toutes poursuites qui pourraient être exercées contre l'entrepreneur à cet égard.

Tout objet chargé, qui n'aurait pas été rendu au dépôt dans la même journée, donnerait lieu à une retenue de *vingt-cinq francs*.

Art. 34. Lorsqu'en ouvrant une tranchée l'entrepreneur viendra à découvrir des conduites et des robinets abandonnés, il devra sur-le-champ prévenir l'ingénieur ou l'inspecteur sous la direction duquel les travaux seront exécutés, afin qu'il puisse reconnaître ces conduites et en ordonner l'enlèvement, s'il y a lieu.

Art. 35. Si, dans le cours de ses travaux, l'entrepreneur vient à reconnaître que des écoulements ou pertes d'eau ont lieu sur des conduites de concessions particulières, non comprises à son marché, il devra prévenir sur-le-champ les agents de l'administration, ainsi que les propriétaires desdites conduites, afin qu'il puisse être pourvu sans retard aux réparations à leur charge. En cas d'infraction à cette obligation, l'entrepreneur deviendra responsable vis-à-vis de la Ville de tous les dommages que ces fuites pourront occasionner.

Art. 36. En cas d'urgence, et lorsqu'il y aura préjudice pour le service public à interrompre le cours de l'eau pendant le jour, l'entrepreneur, sur l'ordre qui lui en sera donné, fera exécuter les travaux la nuit, après avoir pris, pendant le jour, la précaution d'étancher les pertes par une réparation provisoire faite sans arrêter le cours de l'eau, s'il s'agit de fuites sur les conduites.

Art. 37. L'entrepreneur est tenu, s'il en est requis :

1° De fournir, au prix du bordereau annexé au présent devis, les ouvriers qui lui seront demandés pour travaux en régie ;

2° D'acquitter, moyennant un vingtième pour avances de fonds, frais d'enregistrement et timbres, les mémoires de dépenses qui n'ont pas assez d'importance pour être payés par la caisse municipale.

Le rabais de l'adjudication ne sera pas appliqué aux prix des journées; mais, par contre, il ne sera rien alloué pour fournitures d'outils, d'équipages, pour avances de fonds, soins et frais de conduite.

Dans les travaux en régie, les ouvriers seront payés à l'heure de travail effectif. Une heure sera accordée pour se rendre sur le lieu des travaux, lorsque l'exécution des travaux nécessitera la prise des matières brutes ou ouvrées à l'atelier de l'entrepreneur.

La saison d'été est comptée du 1er mars au 31 octobre.

La saison d'hiver, du 1er novembre à la fin de février.

Les heures sous galeries seront payées un quart en sus des heures à l'air.

Les heures de nuit seront également payées un quart en sus des heures de jour.

Digitized by Google

La fourniture des ouvriers comprend celle du matériel nécessaire à l'exécution des travaux, tel que charrette à bras, fourneau, soufflet, outils de plombier, etc., etc.

L'entrepreneur répond de ses ouvriers, aussi bien de ceux qui travaillent pour son compte que de ceux qu'il fournit pour travailler en régie.

Il tient compte de la valeur des matières appartenant tant à l'administration qu'à des particuliers, qui seraient détruites ou soustraites pendant leurs opérations, soit dans l'intérieur des fontaines et regards, soit sur la voie publique.

Art. 38. Il est expressément entendu que les prix du bordereau ne pourront subir de changements dans aucun cas ; ils comprennent tous les faux frais, de quelque nature qu'ils soient, auxquels peuvent donner lieu les travaux, soit comme recherche de la position, des tubulures, mamelons et tuyaux, soit comme concours prêté, suivant le besoin, aux agents du service pour les manœuvres relatives aux arrêts d'eau et remise en charge des conduites.

L'entrepreneur ne pourra former aucune réclamation à raison des variations que les droits d'octroi, de douane, de navigation, etc., etc., viendraient à éprouver pendant la durée de l'entreprise.

S'il se présente quelques ouvrages auxquels les prix du bordereau ne soient pas applicables, l'entrepreneur devra le déclarer à l'ingénieur ou à l'inspecteur, qui procédera suivant les formes indiquées à l'article 22 des clauses et conditions générales.

Les prix dits de règlement sont absolument interdits, et les décomptes devront être exclusivement établis d'après les prix du bordereau, ou d'après ceux consentis préalablement à l'exécution des travaux.

Art. 39. L'exécution des travaux qui constituent le forfait nécessitant des rapports quotidiens entre les agents de l'administration et l'entrepreneur, ce dernier sera tenu d'avoir deux employés spécialement chargés de la réception des ordres de service, de la surveillance des travaux et de la tenue contradictoire des attachements.

Ces agents se rendront *tous les jours* au bureau qui leur sera désigné, à des heures fixées à l'avance. En cas de non-présence, l'absence sera indiquée sur la feuille de service, et le délai d'exécution courra de ce moment.

Ces agents ne seront admis qu'après avoir été agréés par les ingénieurs en chef de division.

Indépendamment de ces agents, l'entrepreneur sera tenu d'avoir pour chaque inspection un planton chargé de se transporter tous les soirs, de sept à neuf heures, au bureau de l'inspecteur et au domicile de chaque piqueur-visiteur pour les ordres de service ou de travaux non prévus le matin à l'heure de la réunion dont il a été fait mention ci-dessus. Ces plantons devront pointer, de la manière qui leur sera indiquée, les registres déposés chez l'inspecteur et chez les piqueurs-visiteurs. Chaque ordre sera préalablement transcrit sur le registre, et le pointage servira à attester cette remise. L'absence du pointage équivaudra, dans tous les cas, à la remise de l'ordre de service quant au délai d'exécution.

Pour les travaux en dehors du forfait, les ordres de service des ingénieurs seront notifiés à l'entrepreneur. Toutefois ce dernier sera tenu d'envoyer son commis, une fois

Digitized by Google

par semaine au moins, chez chaque ingénieur ordinaire, pour y prendre connaissance de ce qui intéresse le service, et rendre compte des ordres qu'il aurait reçus.

Dans le cas où l'entrepreneur n'enverrait personne, et dans le cas encore où lui et ses agents refuseraient de signer le duplicata de la feuille de service destinée à constater sa présence au bureau de l'ingénieur, mention en serait faite sur cette feuille, et cela suffirait pour faire courir contre lui les délais prescrits, soit pour l'exécution des travaux, soit pour l'acceptation des états de dépenses.

L'entrepreneur ou son commis devra se mettre à la disposition des conducteurs et piqueurs, pour l'acceptation des quantités portées sur les carnets d'attachement, et cela le lendemain du jour où il en aura été requis par ordre de service, faute de quoi il sera fait mention sur lesdits carnets de l'ordre de service et de l'absence de l'entrepreneur, et les métrages seront considérés comme acceptés par lui.

Art. 40. Les réparations ne seront jamais entreprises qu'après l'exécution des mesures prescrites par les inspecteurs, pour la manœuvre des eaux et pour la surveillance des travaux.

Il est absolument interdit à l'entrepreneur d'ordonner de son chef aucune manœuvre sur les conduites ou sur les branchements de concession, soit pour arriver à une réparation, soit pour faire une prise d'eau, soit pour toute autre cause. Toute infraction à cet égard serait constatée par procès-verbal, et punie d'une amende de *cent francs*.

Pareille défense est faite pour la manœuvre des vannes des égouts.

Avant d'entreprendre une réparation, l'entrepreneur devra toujours avertir préalablement, soit l'inspecteur, soit les piqueurs-visiteurs, de l'heure à laquelle il compte envoyer ses ouvriers sur le lieu du travail, si déjà l'ordre de service n'a fixé cette heure.

Il devra également faire connaître l'ordre dans lequel seront entreprises les réparations qu'il compte exécuter dans le cours d'une même journée, si cette indication ne lui a déjà été donnée par l'ordre de service.

Dans le cas où l'entrepreneur ne s'astreindrait pas à cette marche, il lui serait fait une retenue de *cinq francs* par chaque infraction constatée.

Art. 41. Lorsque l'entrepreneur aura reçu avis d'une ou plusieurs fuites d'eau, d'enfoncement de pavés ou d'excavations, il sera tenu d'y mettre des ouvriers en nombre suffisant pour que, dans les vingt-quatre heures qui suivront l'avertissement ou l'ordre qu'il aura reçu, la réparation soit effectuée.

Dans le cas où cette réparation serait de nature à ne pouvoir être entreprise et terminée dans les vingt-quatre heures, l'entrepreneur pourvoira sur-le-champ à la sûreté de la voie publique, soit en comblant les excavations, soit en les entourant de barrières, les éclairant dans la nuit avec des appliques, et y posant des gardiens, le tout à ses frais.

Toutes les réparations devront être commencées dans les vingt-quatre heures de l'avertissement, et continuées sans interruption.

A défaut d'un commencement d'exécution dans ce délai, ou en cas de suspension de travaux entrepris, l'entrepreneur sera passible d'une amende de 50 fr. pour chaque

Digitized by Google

jour excédant les vingt-quatre heures de l'avertissement, ou pour chaque jour de suspension.

Pour l'établissement des branchements de concession, l'entrepreneur devra entreprendre, dans les trois jours au plus de l'avertissement, les travaux de prise d'eau, de pose et de raccordement qui lui seront indiqués, ou justifier des causes qui s'opposent à l'exécution du travail. Passé ce délai, il sera passible d'une amende de *vingt francs* par chaque jour de retard.

En ce qui concerne les travaux de pose de conduites et autres, l'entrepreneur sera tenu de commencer dans un délai de trois jours, à partir de celui où l'ordre de service lui aura été donné, et de les continuer sans interruption. Tout retard ou toute suspension donnera lieu à l'application de l'amende de 50 fr., spécifiée ci-dessus.

Les tranchées auxquelles les travaux de pose ou de renouvellement de conduites donneront lieu seront comblées, avec les soins indiqués à l'article ci-dessus, n° 16.

Art. 42. Lorsque l'entrepreneur ne se sera pas conformé à l'ordre qui lui aura été donné pour effectuer une réparation, et qu'il se sera écoulé plus de vingt-quatre heures, à partir de la date de cet ordre, les inspecteurs pourront, sans qu'il soit besoin d'une nouvelle mise en demeure, établir des ouvriers à ses frais, et les mémoires des ouvrages ainsi exécutés, dressés par les inspecteurs, vérifiés par les ingénieurs en chef, et arrêtés par l'ingénieur en chef directeur, seront rendus exécutoires par le préfet.

Art. 43. Les travaux faisant partie du forfait ne donneront lieu à aucune réception, l'entrepreneur restant garant de leur bonne exécution pendant toute la durée de son bail, et demeurant chargé des réparations.

Les travaux neufs seront entretenus par lui jusqu'à la fin de l'année dans laquelle ils auront été exécutés, et passeront, à partir du 1er janvier suivant, à l'entretien de la Ville, à quelque époque de l'année qu'ils aient été terminés, et aux conditions stipulées au chapitre II, article 10.

Art. 44. La somme allouée à forfait pour l'exécution des travaux d'entretien sera payée par *quart*, de trois mois en trois mois, dans les deux mois qui suivront l'expiration de chaque trimestre. Ces payements seront effectués sur le certificat constatant que l'entrepreneur a rempli toutes les obligations qui lui étaient imposées.

Pour ce qui concerne les travaux neufs, l'entrepreneur recevra des à-compte au fur et à mesure du degré d'avancement des travaux, et jusqu'à concurrence des 9/10 de la dépense faite. Le dernier dixième ne sera payé que dans le premier trimestre de l'exercice suivant.

Art. 45. Pour garantir, à la fin du marché, la remise en bon état des objets à entretenir, et l'exact accomplissement de toutes les clauses et conditions souscrites, l'entrepreneur ne sera payé du prix des deux derniers trimestres de la dernière année de son bail qu'après la réception définitive, qui sera faite par l'ingénieur en chef directeur, et d'après laquelle il sera quitte et déchargé de toutes ses obligations. La mise en bon état de service du matériel confié aux soins de l'entrepreneur sera constatée par procès-verbal.

Art. 46. Il sera dressé tous les mois, et pour chaque crédit sur lequel le travail est imputable, un état collectif des retenues que l'entrepreneur aura encourues par suite

Digitized by Google

de l'application des clauses du présent devis. Cet état sera soumis à l'approbation de M. le préfet, après que l'entrepreneur aura été appelé à en prendre connaissance au bureau de l'ingénieur en chef de la division, et à produire ses observations dans un délai de cinq jours, à compter de la date de l'avis qui lui en aura été donné.

Lesdites retenues seront prélevées sur le montant des travaux auxquels elles seront appliquées, et elles seront opérées sur le montant du premier payement à faire à l'entrepreneur.

En cas d'insuffisance, elles seront prises sur le cautionnement, et les sommes ainsi prélevées devront être réintégrées par l'adjudicataire dans le délai d'un mois.

Art. 47. Les frais d'éclairage et de gardiennage sont exclusivement à la charge de l'entrepreneur, aussi bien pour les travaux neufs que pour ceux qui font partie du forfait.

Il restera garant et responsable dudit éclairage, soit envers la police, dont il devra exécuter les ordonnances, soit à l'égard des tiers en cas d'accident.

Il en sera de même des frais d'échafaudage.

Art. 48. En cas d'incendie dans Paris ou dans les faubourgs, l'entrepreneur, ses agents et ses ouvriers doivent être entièrement à la disposition du service, et se transporter, les dimanches et les jours fériés, comme les autres jours, sur l'ordre des ingénieurs et inspecteurs, partout où les manœuvres à exécuter pourraient réclamer leur présence.

Art. 49, 50, 51 et 52, conformes aux articles 21, 22, 23 et 24 du devis précédent.

Le présent devis dressé, etc., etc.

---

168. Bordereau des prix applicables aux travaux de fontainerie concernant les conduites et ouvrages accessoires servant à la distribution des eaux de Paris.

NOTA. Tous les prix ci-dessous comprennent les faux frais et le bénéfice de l'entrepreneur, et seront frappés du rabais de l'adjudication, à l'exception de ceux portés dans la 1re section du chapitre II, lesquels se rapportent aux heures et journées d'ouvrier (voir l'art. 37 du Devis).

CHAPITRE PREMIER. — FORFAIT.

1° *Entretien des conduites et appareils de distribution remis à l'entrepreneur à l'origine de son bail.*

Montant annuel du forfait, tel qu'il existe au tableau annexé au devis. . 64,790f,00

2° *Entretien des conduites et appareils de distribution remis à l'entrepreneur pendant la durée de son bail.*

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Un mètre linéaire de conduite, quel que soit le diamètre.	0,08
Une borne-fontaine (grand ou petit modèle), une bouche d'eau sous trottoir, une	

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
boîte ou un poteau d'arrosement (non compris le branchement payé à part, voir ci-après.	10,00
Une borne-fontaine à repoussoir [1] (pour service public continu) (*Idem*)	50,00
Un effet d'eau d'urinoir (*Id.*)	2,00
Un coffre d'incendie (*Id.*)	3,00
Une citerne de bureau de stationnement (*Id.*)	6,00
Un regard à cuvette de distribution sans puisage public	2,00
Une fontaine monumentale	60,00
Une fontaine de puisage à la sangle, ou une fontaine marchande comprenant les cuvettes, réservoirs, mécanismes, conduites et autres agrès hydrauliques.	100,00
Un branchement en plomb et ses dépendances (quelle que soit la longueur).	1,25

CHAPITRE II. — OUVRAGES EN DEHORS DU FORFAIT.

PREMIÈRE SECTION. — *Heures et journées.*

Une heure d'été d'un compagnon plombier, d'un ajusteur en cuivre, ou d'un serrurier.	0,50
Une heure d'hiver d'un compagnon plombier, d'un ajusteur en cuivre, ou d'un serrurier.	0,55
Une heure d'été de poseur.	0,40
— d'hiver —	0,45
Une heure d'été d'un aide.	0,30
— d'hiver —	0,35
Une heure d'été d'un terrassier, piocheur, pelleur ou manœuvre	0,30
— d'hiver — —	0,35
Une heure d'été d'un maçon.	0,50
— d'hiver —	0,55
Une heure d'été d'un limousin.	0,36
— d'hiver —	0,40
Une heure d'été d'un tailleur de pierre, scieur, poseur.	0,55
— d'hiver — —	0,60
Une heure d'été d'un compagnon charpentier	0,55
— d'hiver —	0,60
Une heure d'été d'un coltineur ou aide	0,45
— d'hiver —	0,50
Une heure d'été d'un compagnon bitumeur.	0,45
— d'hiver —	0,50

[1] Il n'y a à Paris que fort peu de bornes-fontaines à repoussoir, de sorte que le prix de leur entretien, ne devant avoir qu'une influence insignifiante sur le résultat du forfait, n'a pas été étudié ; nous le croyons exagéré.

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Une heure d'été d'un aide bitumeur.	0,35
— d'hiver —	0,40
Une journée de voiture ou binard à 1 cheval (compris le conducteur).	12,00
— à 2 chevaux —	18,00
Une journée de cheval	6,50
Une journée de gardien.	2,00
Une nuit de gardien.	2,50

DEUXIÈME SECTION. — *Transports.*

Un voyage de voiture ou binard à 1 cheval, dans l'intérieur de Paris, et sur les boulevards extérieurs (compris le conducteur).	3,60
Un voyage de voiture ou binard à 2 chevaux, dans l'intérieur de Paris et sur les boulevards extérieurs (compris le conducteur)	6,00
Un voyage de voiture à bras —	2,00
En dehors des limites indiquées ci-dessus, les prix seront augmentés d'un quart.	
Chargement et déchargement, compris rangement des matières dans les magasins, par voyage de voiture ou de binard à 1 cheval.	2,00
— à 2 chevaux	2,50

TROISIÈME SECTION. — *Fournitures.*

1° *Matériaux bruts.*

Le kilogramme de plomb en saumon.	0,60
— en tables (dans les dimensions commerciales).	0,68
— de zinc en plaques.	0,65
— en feuilles.	0,75
— de cuivre rouge en lingots	2,90
— en planches.	3,00
— de cuivre jaune en lingots	1,80
— en planches.	2,50
— d'étain en lingots.	2,20
— de fer laminé	0,45
— de fer de roche.	0,60
— de tôle.	0,70
— de minium anglais (poudre).	0,90
— de blanc de céruse broyé à l'huile.	1,10
Le mètre cube de moellons bruts.	10,00
— de meulière brute.	12,00
— de pierre de taille de roche.	66,00
— de sable de plaine.	4,50
— de sable de rivière	5,00
— de sable tamisé.	8,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Le mètre cube de cailloux lavé et purgé de terre.	6,00
— de chaux hydraulique vive, naturelle ou artificielle.	45,00
— de plâtre en poudre (44 sacs au mètre cube).	20,00
Le millier de briques de Bourgogne, première qualité.	90,00
Le kilogramme de ciment hydraulique (déduction faite de la tare du fût). . .	0,10
Le mètre cube de bois de sapin du nord.	80,00
— de chêne.	90,00
Les 100 kilogrammes de bitume raffiné.	40,00
— de mastic asphaltique.	16,00
2° *Matériaux prêts à être employés.*	
Le kilogramme de plomb pour rondelles, tuyaux refoulés et coupés de longueur, joints coulés, etc.	0,75
— — pour fonte et façon.	0,20
— de soudure, compris le charbon.	2,00
— — vieille, remployée	1,00
— de bronze, pour soupape, bonde de fond, robinets, etc., etc., compris la fonte, le rodage et l'ajustage. . .	5,00
— — pour pièces au-dessous de 2 kilogrammes. . . .	6,00
— — pour fonte sur modèle, non compris l'ajustage. .	4,00
— — pour fonte et façon.	2,50
— — pour fonte seulement	1,50
Quand il sera fait usage de cuivre jaune ou laiton, tous ceux des prix ci-dessus qui comprennent fourniture de métal seront diminués, par kilogramme, de.	0,50
Quand on livrera du laiton en contre-poids d'une fourniture de bronze, il sera ajouté au prix de fonte et façon, par kilogramme.	0,50
Le kilogramme de cuivre rouge laminé pour tuyaux, cuvettes, récipients, flotteurs cylindriques, exécutés suivant les diverses formes prescrites . . .	6,00
— — pour flotteurs sphériques et pièces exécutées avec précision, telles qu'appareils de jauge, compris les accessoires en cuivre fondu, tourné, soudé. . .	8,00
— de zinc pour tuyaux, flotteurs cylindriques, etc., etc. . . .	3,75
— de fer forgé pour agrafes de tuyaux ou gargouilles.	1,00
— — pour boulons, écrous, colliers, frettes, brides, contre-brides et armature de flotteurs. . . .	1,50
— de fer pour mécanismes des soupapes, fontaines, etc., et autres pièces très-ouvragées comprenant tournage et filetage à la filière.	1,70
— de fer pour galvanisation des pièces de fantaisie.	0,75

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Le kilogramme de fonte, pour bouches d'eau, etc., etc.	0,35
Tuyaux, couvertures, etc., etc., compris rivets.	1,40
NOTA. Tous les objets en fer forgé doivent être bitumés. Les prix ci-dessus comprennent le bitumage.	
Le kilogramme de corde goudronnée.	1,00
— de minium préparé pour la confection des joints, dans la proportion de 2 parties de céruse pour 1 partie de minium.	1,05
Le mètre cube de chaux éteinte.	36,00
— de mortier composé d'une partie de chaux hydraulique éteinte, et de 3 parties de sable.	20,00
— de mortier composé de 2 parties de ciment hydraulique et de 3 parties de sable.	80,00
— de mortier composé de parties égales de ciment hydraulique et de sable fin.	100,00
— de moellons de roche, piqués	15,00
— de meulière smillée.	17,00

QUATRIÈME SECTION. — *Travaux de main-d'œuvre et ouvrages compris, fournitures.*

Le kilogramme de plomb pour tuyaux droits ou courbes, soudés longitudinalement, tubulures, moignons et culottes de toute espèce (la soudure étant comptée à part, suivant le tarif et comme à l'article suivant).	0,85
NOTA. Le poids sera évalué conformément au tarif de l'art. 30 du Devis.	
Une bouche d'eau en fonte posée en réparation, avec la rondelle en cuivre filetée.	6,00
Un boulon de bouche d'eau posé en réparation, avec la clavette et sa chaîne.	1,50
Un boulon seul posé en réparation.	0,50
Façon d'un pas de vis enlevé sur le tour, de 0m,02 à 0m,06 de diamètre et de 0m,02 à 0m,06 de longueur.	2,00
Un tuyau en bois de chêne pour bouche à clef, de 1m de longueur et de 0m,20 de diamètre, entièrement purgé d'aubier, percé d'un trou de 0m,108 de diamètre, goudronné intérieurement et extérieurement et garni d'une frette de 0m,05 de hauteur et de 0m,008 d'épaisseur, fixée avec quatre vis à bois.	10,00
Un tampon en fonte avec son châssis pour les bouches à clef grand modèle, mis en place.	2,50
— — petit modèle, *id.*	2,00
Le tampon seul, disposé pour recevoir la chaîne (grand modèle)	0,75
— — (petit modèle).	0,65
Une chaîne ajustée et posée en réparation, pour fixer le tampon au tuyau en bois de la bouche à clef.	1,80
Un tabernacle de bouche à clef, compris fourniture de briques et main-d'œuvre.	3,70

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Pour main-d'œuvre seulement.	1,00
Un dessus de tabernacle en bois de chêne, de 0m,041 d'épaisseur et 0m,35 en carré, goudronné sur toutes ses faces.	1,50
Une clavette double en cuivre pour fixer les boulons de bouche ou les clefs de robinet.	0,30

DIAMÈTRES	m 0,027	m 0,054	m 0,081	m 0,108	m 0,135	m 0,162	m 0,19	m 0,216	m 0,25	m 0,30	m 0,325	m 0,35	m 0,40	m 0,50	m 0,60
Une rondelle en cuir gras pour tuyaux..	f 0,23	f 0,40	f 0,50	f 0,70	f 0,90	f 1,10	f 1,30	f 1,50	f 1,70	f 1,90	f 2,00	f 2,20	f 2,50	f 3,00	f »
Un collier à lunettes, compris les boulons de serrage : poids.	»	»	k 3,65	k 4,00	k 4,30	k 4,65	k 5,65	k 6,65	k 7,00	k 7,65	k 8,00	k 8,65	k 10,00	k 16,65	k 20,00
prix..	»	»	f 5,50	f 6,00	f 6,50	f 7,00	f 8,50	f 10,00	f 10,50	f 11,50	f 12,00	f 13,00	f 15,00	f 25,00	f 30,00
Coupem^t de tuyaux.	»	»	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	3,25	3,50	4,00	5,00	6,00
Essai d'un tuyau ou d'un robinet.....	»	»	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,75	0,80	1,00	1,25	1,50	1,75

Percement d'un trou de boulon dans une bride en fonte, en fer ou en cuivre, quels que soient le diamètre et l'épaisseur de la bride.	0,70
Percement d'un trou de 0m,013 à 0m,041 de diamètre dans un tuyau en fonte. .	2,00
— de 0m,05 à 0m,108 — . .	4,00
— de 0m,135 à 0m,30 — . .	5,00
Percement d'un tuyau en tôle et bitume, comprenant l'enlèvement du bitume à chaud, le nettoiement de la tôle et de son étamage, le percement de la conduite au trépan, l'ajustage et le soudage du tuyau en plomb, la fourniture de la soudure et le replacement du bitume :	
Pour un trou d'un diamètre de 0m,02..	2,55
— de 0m,027.	3,55
— de 0m,03..	3,95
— de 0m,035.	4,45
— de 0m,04	4,95
— de 0m,045.	5,40
— de 0m,05	5,90
— de 0m,06	6,80
— de 0m,081.	7,50
Un robinet de borne-fontaine en bronze, pesant 4 kilog., à soupape, siége indépendant du boisseau, soupape rappelée par un ressort spiral, ou par une vis modératrice, faisant corps avec le robinet (compris plus-value pour pas de vis et cuir).	37,00
— à repoussoir.	45,00
— à cône renversé, pesant 4k,50.	25,50

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Un robinet de jauge à 3 clefs, pesant 6^k, compris armature en bronze. .	30,00
Un chapeau en fonte, pesant 2^k, pour robinet, de $0^m,041$, et de $0^m,06$, compris ajustement.	1,50
— pesant $0^k,60$ pour robinet de $0^m,027$ et de $0^m,034$.	0,80
Un cadenas à combinaison, conforme au modèle de la Ville.	5,00
Un cadenas pour arrêt de décharge, avec garniture en cuivre.	5,00
Déplacement d'une prise d'eau de $0^m,027$ sur tubulure, ou percement avec remploi du robinet et de la bouche à clef (sans allongement de branchement).	6,00
— (avec allongement jusqu'à $1^m,00$).	15,00
— avec substitution d'un robinet à mamelon (sans allongement de branchement).	28,00
— (avec allongement jusqu'à $1^m,00$)	36,00
Déplacement d'une prise d'eau de $0^m,06$, avec remploi du robinet et de la bouche à clef, et dépose du premier tuyau pour raccourcissement. . .	17,00
— avec allongement de branchement jusqu'à $1^m,00$. . . .	28,00
Exhaussement ou abaissement d'une bouche à clef.	2,50
Un bouton en fonte pour repoussoir de borne-fontaine.	0,75
Un ajustement de robinet de $0^m,020$ à $0^m,34$ de diamètre.	0,75
— de $0^m,041$ à $0^m,054$.	1,50
Un piton en fort fil de fer pour chaînette de boulon de bouche d'eau. . . .	0,05
Une tige de repoussoir de borne-fontaine, avec chapeau en fonte.	1,50
Une clef de serrure de borne-fontaine.	1,50
Une crapaudine en cuivre.	0,25
Une ligature en fil de fer galvanisé pour attache de pas de vis d'incendie ou d'arrosement.	0,25
Le mètre cube de déblai, quelle que soit la nature du terrain.	0,38
Jet à la pelle jusqu'à 2^m de hauteur, ou charge en tombereau et en brouette. .	0,12
Transport en brouette à 30^m en terrain plat, ou à 20^m en rampe inclinée à 1/10.	0,12
Transport au tombereau à une première distance de 100^m, compris le temps du chargement et du déchargement.	0,45
Pour chaque distance de 100^m en plus.	0,08
Le mètre cube de déblai pour fouille, charge et transport aux décharges publiques.	2,30
Le mètre cube de déblai, repris sur le bord de la tranchée, et employé en remblai	0,15
— pilonné par couche de $0^m,10$ et arrosé.	0,15
Le mètre carré de tranchée pour dressement du fond.	0,10
Le mètre cube de béton, composé de $0^m,52$ de mortier du n° 99, et de $0^m,78$ de caillou mis en place et pilonné.	20,00
Le mètre cube de maçonnerie de meulière brute, avec mortier à 20 fr. . .	22,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Le mètre cube de maçonnerie de meulière brute, avec mortier à 80 fr.. . .	50,00
— de moellons bruts, avec mortier à 20 fr. . . .	20,00
— de briques de Bourgogne hourdées en ciment hydraulique, compris cintre et chape. . . .	100,00
Le mètre carré de parements vus de meulière ou de moellon pour smillage et rejointoiement en mortier de chaux hydraulique.	2,00
Le mètre carré de parements vus de meulière ou de moellon pour smillage, et rejointoiement en mortier de ciment	4,00
Le mètre carré d'enduit en ciment hydraulique de $0^m,03$ d'épaisseur sur murs en moellons ou meulières, compris rocaillage et renformis.	6,00
Scellement en ciment hydraulique d'une console en fonte pour tuyau de $0^m,081$ à $0^m,216$.	2,50
— de $0^m,25$ à $0^m,60$.	3,00
Descellement et bouchement du trou, quel que soit le diamètre du tuyau. .	1,50
Taille et évidement d'un souillard grand modèle.	12,00
— petit modèle.	10,00
— d'une cuvette posée sous les grilles des bornes. . . .	7,00
Percement de voûte d'égout, et raccord de la maçonnerie.	8,00
Le mètre linéaire de joints de pavés coulés en bitume, toutes mains-d'œuvre et fournitures comprises.	1,00
— refait.	0,80
— de joints sur dallage	0,80
— refait.	0,70

CINQUIÈME SECTION. — *Ouvrages complets.*

Prise d'eau de $0^m,027$, avec robinet en bronze pesant 4^k, non compris le poids du chapeau en fonte . .	En terre sur tubulure, avec bouche à clef.. . . .	65,00
	— avec percement et bouche à clef.. . . .	60,00
	— sur mamelon taraudé, avec bouche à clef.	50,00
	En égout sur tubulure, sans bouche à clef.. . . .	60,00
	— — avec bouche à clef. . . .	80,00
	— avec percement, sans bouche à clef. . .	55,00
	— — avec bouche à clef. . .	75,00
	— sur mamelon taraudé, sans bouche à clef.	40,00
	— — avec bouche à clef.	60,00
Prise d'eau de $0^m,06$, avec robinet en bronze pesant 20^k, non compris le poids du chapeau et de la rondelle en fonte	En terre sur tubulure, avec bouche à clef. . . .	135,00
	— avec percement et bouche à clef. . . .	150,00
	En égout sur tubulure, sans bouche à clef. . . .	135,00
	— — avec bouche à clef. . . .	165,00
	— avec percement, sans bouche à clef. . .	135,00
	— — avec bouche à clef. . .	170,00

NOTA. Les colliers à lunettes seront payés à part, aux prix portés ci-dessus.

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Une bouche à clef	19,00
Pose d'une ventouse à flotteur, compris percement des trous de boulons	8,00

Pose d'une borne-fontaine, non compris le branchement alimentaire et ses dépendances.	GRAND MODÈLE. Avec souillard	GRAND MODÈLE. Sur trottoir.	PETIT MODÈLE. Avec souillard	PETIT MODÈLE. Sur trottoir.
	f c	f c	f c	f c
Démontage de la chaussée ou du trottoir, déblais, enlèvement des terres, remblais, pilonnage et raccordement	8,50	10,00	8,50	10,00
Maçonnerie de fondation	12,00	9,00	9,00	8,00
Bitumage des joints de pavés	20,00	10,00	20,00	10,00
Souillard ou cuvette	32,00	11,00	22,00	11,00
Porte en tôle avec tourillons, compris ajustage et pose	6,50	6,50	5,50	5,50
Serrure en cuivre nouveau modèle et cache-entrée, mise en place	8,00	8,00	8,00	8,00
Double transport de la borne, armature, compris le tuyau en plomb à l'intérieur, bouche d'eau, peinture	50,00	50,00	46,00	46,00
Robinet à soupape	37,00	37,00	37,00	37,00
Grille en fer forgé	»	14,50	»	14,50
Prix d'une borne mise en place	174,00	156,00	156,00	150,00

Dépose d'une borne-fontaine, grand ou petit modèle.

Terrassements, démolition de maçonnerie, etc. (non compris la dépose du branchement, comptée à part)	3,00	
Transport et rangement	3,00	
Prix d'une borne-fontaine déposée		6,00

Repose d'une borne-fontaine.	GRAND MODÈLE. Avec souillard	GRAND MODÈLE. Sur trottoir.	PETIT MODÈLE. Avec souillard	PETIT MODÈLE. Sur trottoir.
	f c	f c	f c	f c
Démontage de la chaussée ou du trottoir, déblais, enlèvement des terres, remblais, pilonnage et raccordement	8,50	10,00	8,50	10,00
Maçonnerie de fondation	12,00	9,00	9,00	8,00
Bitumage des joints de pavés	20,00	10,00	20,00	10,00
Transport de la borne de son ancienne place à la nouvelle, repose, toutes mains-d'œuvre et fourniture comprises, le branchement seul étant compté à part	4,50	5,00	4,50	5,00
Prix d'une borne-fontaine reposée	45,00	34,00	41,00	33,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.		PRIX de l'unité. f. c.
Pose d'une bouche d'eau sous trottoir.		
Boîte en fonte conforme au modèle	28,00	
Couvercle en tôle ouvrée avec tourillons, compris ajustage et pose	9,00	
Robinet en bronze pesant 16 kil., et plus-value pour pas de vis	86,00	
Serrure en cuivre	8,00	
Plomb, fer, brides et pose	9,00	
Dégorgeoir en fonte, conforme au modèle	48,00	
Prix d'une bouche d'eau mise en place		188,00
Dépose d'une bouche d'eau.		
Dépose	3,00	
Transport et rangement	3,00	
Prix de la dépose d'une bouche d'eau		6,00
Repose d'une bouche d'eau.		
Terrassements, déblocage et reblocage, enlèvement de terres, etc.	4,00	
Maçonnerie de fondation et coupe de bordures	7,00	
Bitumage des joints	8,00	
Transport et pose	5,00	
Prix d'une bouche d'eau reposée		24,00
Pose d'un poteau d'arrosement.		
Démontage de la chaussée ou du trottoir, déblais, enlèvement des terres, remblais, pilonnage et raccordement	6,00	
Maçonnerie de fondation	22,00	
Robinet en bronze pesant 9^k,50, et plus-value pour pas de vis	50,00	
Fourniture et ajustement d'un crampon et d'un support pour le boyau	10,00	
Fourniture et pose d'une porte, avec serrure et tourillons en cuivre	12,00	
Double transport du poteau, armature, compris une colonne en cuivre rouge pesant 7^k,40, peinture, etc., etc.	110,00	
Prix d'un poteau mis en place		210,00
Dépose d'un poteau d'arrosement.		
Terrassements, démolition de maçonnerie, non compris la dépose du branchement, comptée au mètre linéaire	5,00	
Transport et rangement	5,00	
Prix de la dépose d'un poteau		10,00
Repose d'un poteau d'arrosement.		
Démontage de la chaussée ou du trottoir, déblais, enlèvement des terres, remblais, pilonnage et raccordement	6,00	
Maçonnerie de fondation	22,00	
Transport du poteau de son ancienne place à la nouvelle, repose,		

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.		PRIX de l'unité. f. c.
toutes mains-d'œuvre et fournitures comprises, le branchement seul étant compté à part	7,00	
Prix de la repose d'un poteau		35,00
Pose d'un coffre d'incendie, non compris le branchement alimentaire.		
Fourniture du coffre	3,00	
— d'une porte en tôle, avec serrure et tourillons en cuivre et cache-entrée.	14,00	
Robinet en bronze, avec pas de vis d'incendie, pesant 8k,50. . . .	42,50	
Armature, transport, pose, peinture..	40,50	
Prix d'un coffre d'incendie mis en place.		100,00
Dépose d'un coffre d'incendie.		
Dépose du coffre et rebouchage du trou en ciment ou en pierre . .	13,00	
Transport et rangement.	2,00	
Prix de la dépose d'un coffre.		15,00
Repose d'un coffre d'incendie.		
Repose d'un coffre, compris toutes fournitures, transport, peinture, etc.	20,00	20,00

Tableaux concernant les tuyaux et robinets-vanne.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.												
	m. 0,081	m. 0,108	m. 0,135	m. 0,162	m. 0,19	m. 0,216	m. 0,25	m. 0,30	m. 0,325	m. 0,35	m. 0,40	m. 0,50	m. 0,60
Pose en terre d'une conduite en fonte (toutes fournitures et mains-d'œuvre comprises, la fourniture de la fonte et l'essai des tuyaux seuls exceptés).													
	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.
Démontage de chaussée ou de trottoir et remise en place..	0,60	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,75	0,90	0,90	0,90	1,00	1,20	1,40
Ouverture de la tranchée, façon des niches et dressement du fond.	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,10	1,25	1,45
Transport des terres excédantes.	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,25	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,70
Transport du tuyau à pied d'œuvre.	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,20
Descente du tuyau	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,35	0,50	0,50	0,60
Mise en place..	0,40	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00
Plomb, corde goudronnée et façon des joints.. . .	1,15	1,40	1,70	2,20	2,60	3,00	3,60	4,20	4,55	4,90	5,65	6,75	7,85
Remblai et pilonnage . . .	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,80
PRIX du mètre linéaire.	3,50	4,00	4,50	5,50	6,00	6,50	7,50	8,50	9,00	9,50	11,00	13,00	15,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.												
	m. 0,081	m. 0.108	m. 0,135	m. 0,162	m. 0,19	m. 0,216	m. 0,25	m. 0,30	m. 0,325	m. 0,35	m. 0,40	m. 0,50	m. 0,60
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démonter la chaussée ou le trottoir. .	f. c. 0,35	f. c. 0,35	f. c. 0,35	f. c. 0,55	f. c. 0,55	f. c. 0,55	f. c. 0,55	f. c. 0,65	f. c. 0,65	f. c. 0,65	f. c. 0,65	f. c. 0,80	f. c. 1,00
A ajouter par décimètre de profondeur. jusqu'à 2m,40	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,18	0,18	0,25	0,25
A ajouter par décimètre de profondeur. au-delà de 2m,40. . .	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0.25	0,30	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45
Pose sous galerie d'une conduite en fonte.													
Transport à pied d'œuvre..	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,20
Descente dans la galerie. .	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0.20	0,20	0,25	0,30	0,35	0,50	0,50	0,60
Mise en place..	0,40	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00
Plomb, corde goudronnée, façon des joints.	1,15	1,40	1,70	2,20	2,60	3,00	3,60	4,20	4,55	4,90	5,65	6,75	7,85
PRIX du mètre linéaire.	1,70	2,20	2,70	3,35	3,85	4,35	5,00	5,70	6,15	6,60	7,75	9,15	10,65
A déduire lorsque le plomb sera fourni par la Ville..	0,45	0,65	0,70	0,80	0,90	1,00	1,40	1,60	1,75	1,85	2,10	2,60	3,40
Plus-value à ajouter par mètre linéaire pour les conduites avec joints à brides	1,15	1,50	1,85	2,00	2,10	2,30	2,70	3,30	3,50	3,75	4,00	4,80	6,00
Plus-value à ajouter *par joint à bride isolé* dans les conduites avec joints à emboîtements	2,85	3,75	4,60	5,00	5,20	5,75	6,75	8,25	8,75	9,40	10,00	12,00	15,00
Plus-value à ajouter pour chaque tuyau ayant moins de 2m,50 de longueur.. .	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
Plus-value à ajouter pour chaque centimèt. de biais dans les joints biais à brides.	1,00	1,50	1,90	2,40	2,80	3,85	4,00	4,60	5,20	5,80	6,10	7,50	9,00

NOTA. Les prix des 5 lignes ci-dessus sont applicables aux conduites posées soit en terre, soit en galerie.

Pose en terre d'une conduite en tôle et bitume (toutes fournitures et mains-d'œuvre comprises, la fourniture et l'essai du tuyau seuls exceptés).													
Démontage de chaussée ou de trottoir, et remise en place.	0,60	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,70	0,90	0,90	0,90	1,00	1,20	1,40
Ouverture de la tranchée et dressement du fond. . .	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	1,00	1,00	1,00	1,10	1,25	1,75
Transport des terres excédantes.	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,60	0,70
Transport du tuyau à pied d'œuvre	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35	0,45
Descente du tuyau.. . . .	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,35	0,40
Mise en place..	0,55	0,65	0,75	0,85	0,90	0,95	0,95	0,95	1,20	1,50	1,65	1,95	2,40
Remblai et pilonnage . . .	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,55	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90
PRIX du mètre linéaire..	2,50	2,60	2,80	3,30	3,40	3,50	3,60	4,00	4,50	5,00	5,50	6,50	8,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.												
	m. 0,081	m. 0,108	m. 0,135	m. 0,162	m. 0,19	m. 0,216	m. 0,25	m. 0,30	m. 0,325	m. 0,35	m. 0,40	m. 0,50	m. 0,60
	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.
A ajouter par décimètre de profondeur.. jusqu'à 2m,40	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,18	0,18	0,25	0,25
A ajouter par décimètre de profondeur.. au delà de 2m,40 . . .	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45
Pose sous galerie d'une conduite en tôle et bitume (toutes fournitures et mains-d'œuvre comprises, la fourniture et l'essai du tuyau seuls exceptés).													
Transport à pied d'œuvre . .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,30
Descente dans la galerie. .	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,35	0,50	0,50	0,70
Mise en place.	0,40	0,55	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90	1,10	1,40	2,10	3,00
PRIX du mètre linéaire.	0,55	0,75	1,00	1,15	1,25	1,35	1,40	1,50	1,70	2,00	2,50	3,50	5,00
Dépose de conduite en fonte placée en terre.													
Démontage de chaussée ou de trottoir et remise en place, déblai, extraction de la conduite, remblai, etc., etc.	2,20	2,45	2,75	3,15	3,45	3,60	4,00	4,50	4,80	5,00	5,35	6,10	7,00
Transport et rangement. .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0 55	0,60	0,90	1,20
Nettoyage et grattage du tuyau..	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,60	0,80
PRIX du mètre linéaire.	2,40	2,70	3,10	3,60	4,00	4,20	4,70	5,30	5,70	6,00	6,40	7,60	9,00
A déduire quand il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée ou de trottoir..	0,35	0,35	0,35	0,55	0,55	0,55	0,55	0,65	0,65	0,65	0,65	0,80	1,00

Dans le cas où la conduite serait extraite d'une tranchée déjà ouverte, il y aurait à déduire des prix ci-dessus :

1° 1f,00 pour les tuyaux de 0m,081 à 0m,135 inclusivement.
2° 1 ,30 — de 0m,162 à 0m,25 —
3° 1 ,60 — de 0m,30 à 0m,40 —
4° 2 ,00 — de 0m,50 à 0m,60 —

Dépose de conduite en tôle et bitume placée en terre.													
Démontage de chaussée ou de trottoir, remise en place, déblai, extraction de la conduite, remblai, etc.	1,60	1,65	1,75	1,85	2,05	2,10	2,30	2,50	2,70	3,00	3,45	4,00	5,00
Transport et rangement. .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,20
Nettoyage et grattage du tuyau.	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,60	0,80
PRIX du mètre linéaire.	1,80	1,90	2,10	2,30	2,60	2,70	3,00	3,30	3,60	4,00	4,50	5,50	7,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.												
	m. 0,081	m. 0,108	m. 0,135	m. 0,162	m. 0,19	m. 0,216	m. 0,25	m. 0,30	m. 0,325	m. 0,35	m. 0,40	m. 0,50	m. 0,60
Dépose de conduite en fonte placée sous galerie.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.
Démontage de la conduite..	0,80	1,15	1,45	1,75	2,05	2,40	2,80	3,20	3,60	4,00	4,45	5,00	5,50
Transport et rangement. .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,20
Nettoyage et grattage . . .	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,60	0,80
Prix du mètre linéaire.	1,00	1,40	1,80	2,20	2,60	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,50	7,50
Dépose de conduite en tôle et bitume placée sous galerie.													
Démontage de la conduite.	0,40	0,55	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90	1,10	1,40	2,10	3,00
Transport et rangement. .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,90	1,20
Nettoyage et grattage . . .	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45	0,60	0,80
Prix du mètre linéaire.	0,60	0,80	1,05	1,25	1,35	1,40	1,50	1,60	1,80	2,10	2,45	3,60	5,00
Pose d'un robinet-vanne.													
Transport du robinet . . .	3,50	3,50	4,00	6,00	8,00	10,00	10,00	11,00	11,50	12,50	15,00	20,00	25,00
Descente dans le regard. .	1,00	1,00	1,20	2,00	2,60	3,20	3,90	4,00	4,40	4,50	7,00	12,00	16,00
Enduit en minium pour préparer la place des rondelles en plomb.	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
Fer forgé pour boulons . .	6,40	7,40	10,70	12,80	13,00	13,00	13,00	16,80	16,80	18,90	18,90	25,20	31,50
Plomb pour rondelles et façon des joints..	4,20	4,70	6,70	7,70	7,90	9,20	10,50	16,50	17,60	19,30	21,20	25,80	36,30
Prix de dépose du robinet.	15,50	17,00	23,00	29,00	32,00	36,00	38,00	49,00	51,00	56,00	63,00	84,00	110,00
Dépose d'un robinet-vanne.													
Dépose..	1,50	1,50	1,75	1,75	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50	3,00	3,00	3,00	4,00
Sortie du regard..	1,00	1,00	1,25	2,25	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	4,50	7,00	12,00	16,00
Transport et rangement. .	3,50	3,50	4,00	6,00	8,00	10,00	10,00	11,00	11,50	12,50	15,00	20,00	25,00
Prix de dépose du robinet.	6,00	6,00	7,00	10,00	12,50	15,00	16,00	17,50	18,50	20,00	25,00	35,00	45,00

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.											
	m. 0,013	m. 0,02	m. 0,025	m. 0,027	m. 0,03	m. 0,035	m. 0,04	m. 0,045	m. 0,05	m. 0,06	m. 0,081	m. 0,108
Pose en terre d'une conduite en plomb.												
	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.
Démontage de chaussée ou de trottoir.	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Déblai, remblai, dressement du fond, pilonnage.	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Plomb.	2,70	4,35	5,25	6,60	7,50	8,10	9,00	10,15	11,25	13,45	18,75	25,50
Main-d'œuvre et toutes fournitures comprises.	0,50	0,75	0,75	1,00	1,20	1,40	1,50	1,65	1,85	2,05	2,75	3,60
Prix du mètre linéaire. . .	4,40	6,30	7,20	8,80	9,90	10,70	11,70	13,00	14,30	16,70	22,70	30,30
A ajouter par décimètre de profondeur..	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0 10
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée ou de trottoir.	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	DIAMÈTRES DES TUYAUX.					
	de 0m,027 à 0m,034	de 0m,035 à 0m,06	0m,081	0m,108	0m,162	0m,216
Dépose d'une conduite en plomb placée en terre.						
Démontage de chaussée ou de trottoir, déblai, extraction de la conduite, remblai, pilonnage	f. c. 1,45	f. c. 1,65	f. c. 1,90	f. c. 1,95	f. c. 2,35	f. c. 3,15
Transport et rangement	0,05	0,05	0,10	0,15	0,25	0,35
PRIX de dépose du mètre linéaire	1,50	1,70	2,00	2,10	2,60	3,50
A déduire lorsqu'il n'y aura pas lieu à démontage de chaussée ou de trottoir	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

Dans le cas où la conduite serait extraite d'une tranchée déjà ouverte, il y aurait à déduire des prix ci-dessus :

1° 1f,00 pour les tuyaux de 0m,027 à 0m,108 inclusivement.
2° 1 ,30 — de 0m,162 à 0m,216

Dépose d'une conduite placée sous galerie.						
Dépose	0,65	0,65	0,80	0,85	1,25	1,65
Transport et rangement	0,05	0,05	0,10	0,15	0,25	0,35
PRIX du mètre linéaire	0,70	0,70	0,90	1,00	1,50	2,00

NOTA. Les tuyaux de 0m,013 devront avoir 0m,005 d'épaisseur.
— de 0m,02 à 0m,025 — 0m,006 —
— de 0m,027 à 0m,06 — 0m,007 —
— de 0m,081 à 0m,108 — 0m,008 —

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité.
SIXIÈME SECTION. — *Objets divers.*	
	f. c.
Un mètre cube de glaise pour corroi	10,00
Une botte de paille	0,55
Un balai de bouleau de 0m,31 de tour au-dessous de la ligature supérieure	0,20
Un manche	0,20
Un manche de grande dimension (le mètre linéaire)	0,35
Brosse en chiendent, grande dimension et première qualité	0,60
Le mètre courant de boyaux d'incendie rivés	7,00
Un raccord complet pour idem, comprenant chape, vis et écrou en bronze, avec ligature en laiton	10,00
Un lampion grand modèle ou applique	0,65
Un kilogramme de chandelles	1,60
— d'huile ordinaire	1,40
— de bougies rats de cave	6,00
Un cent de lettres romaines ordinaires, de 0m,03 à 0m,09 de hauteur	5,00

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité. f. c.
Un hectolitre de charbon de bois.	5,00
Un kilogramme de charbon de terre.	0,03
— de mastic de fontainier.	0,75
Une goupille pour mécanismes.	0,15
Une vis à bois de 0m,02 à 0m,06 de longueur.	0,06
— de 0m,07 à 0,10.	0,15
Une falourde.	1,40
Location d'une pompe d'épuisement avec ses tuyaux, par jour.	1,00
Il sera payé, en outre, pour transport à pied-d'œuvre et retour à l'atelier. .	5,00
Location d'une chèvre garnie de ses cordages, haubans et leviers, par jour. .	4,00
Il sera payé, en outre, pour transport à pied-d'œuvre et retour.	5,00
Location d'un mètre cube de bois pour poutres de ponts de service, poteaux, de barrières, étrésillons, couchis, etc.	15,00
Location d'un mètre linéaire de plats-bords, de 0m,30 de largeur, pour soutenir les terres, etc.	0,30
— d'un mètre linéaire de barrières de sûreté, comprenant poteaux scellés, lisses et sous-lisses chevillées et clouées.	1,00
— d'un mètre linéaire de barrières volantes.	0,25
— d'un kilogramme de fer.	0,25
— d'un mètre linéaire de cordages de grosseur quelconque.	0,10
— d'un mètre carré de bâche goudronnée employée à l'air.	0,04
— — employée sous l'eau . . .	0,05

Le présent bordereau dressé, etc.

Digitized by Google

169. Prix de revient des robinets-vanne et ventouses à flotteur confectionnés à l'atelier de Chaillot.

	Prix de l'unité.	DIAMÈTRES DES CONDUITES AUXQUELLES S'ADAPTENT LES ROBINETS.																										VENTOUSE à flotteur pour tout diamètre.	
		0m,081		0m,108		0m,135		0m,162		0m,19		0m,216		0m,25		0m,30		0m,35		0m,40		0m,50		0,m60			
		Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.	Poids.	Valeur.
	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.	k.	f. c.
Fonte.....	40,00	101	40,40	129	51,60	207	82,80	238	95,20	293	117,20	304	121,60	410	164,00	450	180,00	612	244,80	763	305,20	1117	446,80	1470	588,00	50,00	20,00
Cuivre.....	3,75	13	48,75	16	60,00	19	71,25	24	90,00	27	101,25	28	105,00	35	131,25	36	135,00	45	168,75	57	213,75	82	307,50	98	367,50	4,00	15,00
Plomb.....	0,50	11	5,50	15	7,50	22	11,00	26	13,00	28	14,00	29	14,50	30	15,00	31	15,50	37	18,50	45	22,50	49	24,50	70	35,00	1,00	0,55
Fer ouvré...	2,50	8	20,00	10	25,00	16	40,00	20	50,00	22	55,00	22	55,00	25	62,50	27	67,50	28	70,00	30	75,00	32	80,00	40	100,00	3,60	9,00
Filetage.....	»	»	5,00	»	5,00	»	5,00	»	5,00	»	6,00	»	6,00	»	7,00	»	7,00	»	8,00	»	8,00	»	9,00	»	9,00	0,50 [1]	6,00
Outils.....	»	»	2,50	»	2,50	»	3,00	»	3,00	»	3,00	»	4,00	»	4,00	»	4,00	»	5,00	»	5,00	»	6,00	»	6,00	»	1,00
Ajustement..	»	»	24,85	»	29,40	»	34,95	»	42,80	»	47,55	»	54,90	»	59,25	»	75,00	»	84,95	»	94,55	»	119,20	»	149,50	»	12,45
Prix de revient à l'atelier.....	»	»	147,00	»	181,00	»	248,00	»	299,00	»	344,00	»	361,00	»	443,00	»	484,00	»	600,00	»	724,00	»	993,00	»	1255,00	»	64,00
Pose.....	»	»	15,00	»	17,00	»	23,00	»	29,00	»	32,00	»	36,00	»	38,00	»	49,00	»	56,00	»	63,00	»	84,00	»	110,00	»	8,00
Prix total....	»	»	162,00	»	198,00	»	271,00	»	328,00	»	376,00	»	397,00	»	481,00	»	563,00	»	656,00	»	787,00	»	1077,00	»	1365,00	»	72,00

170. Prix des tuyaux en tôle et bitume (système Chameroy, tarif 1853).

Diamètres.....	m. 0,018	m. 0,027	m. 0,035	m. 0,042	m. 0,054	m. 0,068	m. 0,081	m. 0,108	m. 0,135	m. 0,162	m. 0,189	m. 0,216	m. 0,244	m. 0,270	m. 0,297	m. 0,324	m. 0,350	m. 0,400	m. 0,450	m. 0,500
Prix du mètre en fabrique.....	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.	f. c.
Prix du mètre posé sans le terrassement.....	1,40	1,55	1,70	1,85	2,00	2,50	3,00	4,25	5,75	7,25	9,10	10,90	13,00	15,00	17,50	20,00	23,00	26,00	33,00	38,00
Prix du mètre fourni et posé, compris la tranchée et ses accessoires, jusqu'à 1m,40 de profondeur.....	1,55	1,70	1,85	2,00	2,20	2,70	3,25	4,55	6,05	7,60	9,55	11,45	13,60	15,75	18,40	21,20	24,30	27,50	34,50	40,00
Plus-value par décimètre, au delà de 1m,40 de profondeur de tranchée, par mètre linéaire.....	3,05	3,20	3,45	3,60	3,90	4,40	5,00	6,30	7,80	9,45	11,60	13,70	15,90	18,25	21,10	24,00	27,50	31,00	37,75	43,50
Prix du mètre fourni et posé en galerie.....	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20
Plus-value des bouts et coudes en sus de la longueur.	1,65	1,80	1,95	2,10	2,30	2,80	3,50	4,70	6,30	7,90	9,85	11,75	14,00	16,25	18,90	21,70	25,00	28,25	35,25	41,50
Plus-value des tubulures et tampons en sus de la longueur	1,40	1,50	1,75	1,85	2,00	2,50	3,00	4,25	5,50	7,50	8,50	11,50	13,00	15,00	17,50	20,00	23,00	26,00	30,00	35,00
	1,10	1,10	1,10	1,20	1,20	1,40	1,80	2,10	2,50	3,50	4,50	5,50	7,00	9,00	11,00	12,00	13,00	15,00	16,75	20,00
Prix des frettes pour jonctions avec la fonte.....	0,00	0,00	0,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	19,00
Prix des brides à vis ou soudées sur tuyaux.....	3,50	3,50	3,75	4,00	4,50	5,00	6,00	7,50	11,00	12,00	14,00	16,00	18,00	21,00	24,00	27,00	29,00	32,00	36,00	40,00
	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
Poids par mètre de tuyau.....	2,20	2,77	3,27	4,30	5,50	6,30	8,00	12,30	17,00	20,00	24,00	30,00	35,00	40,00	50,00	56,00	68,00	77,00	90,00	103,00

[1] Flotteur.

Digitized by Google

PRÉFECTURE DU DÉPARTEMENT DE LA SEINE.

171. Soumission.

Je soussigné,

demeurant à Paris, rue n°

Après avoir pris connaissance de l'arrêté réglementaire des abonnements aux eaux de Paris, en date du 1er août 1846, et qui suit la présente soumission, demande qu'il me soit délivré par jour, à titre d'abonnement annuel, dans la maison dont je suis

et qui est désignée en marge ci-contre, la quantité de

hectolitre des eaux de suivant le mode indiqué au paragraphe de l'art. 2 dudit arrêté réglementaire.

Je déclare que ces eaux seront exclusivement employées aux besoins particuliers d

Ces eaux seront prises par un embranchement sur la conduite de la rue.

Je m'engage à payer annuellement, pour ladite fourniture, la somme de

francs, qui sera par moi versée à la caisse municipale, à l'Hôtel-de-Ville, par semestre, et d'avance.

Je m'engage, en outre, à me conformer à toutes les dispositions prescrites par ledit arrêté réglementaire, dont je déclare avoir pris parfaite connaissance.

Paris, le 185 .

Vu et proposé à l'acceptation de Monsieur le Préfet de la Seine, par l'ingénieur en chef directeur du service municipal de Paris.

Paris, le 185 .

Acceptation.

NOUS, PRÉFET DE LA SEINE,

ARRÊTONS :

La soumission ci-dessus est acceptée, et l'abonnement aux eaux de Paris est accordé pour un an[1]. En conséquence, le prix de cet abonnement sera porté au rôle de recouvrement pour être perçu à partir de l'entrée en jouissance.

Fait à Paris, le 185 .

Règlement sur les abonnements aux eaux de Paris.

NOUS, PAIR DE FRANCE, PRÉFET DE LA SEINE,

Vu les lois et les règlements qui régissent les eaux publiques;

Vu l'arrêté d'un de nos prédécesseurs en date du 30 septembre 1813, et les délibérations du Conseil municipal de Paris, des 24 février 1843 et 6 février 1846, sur la fixation du tarif des abonnements aux eaux de Paris;

[1] Les abonnements ne sont faits que pour un an et se continuent par tacite réconduction. Ce mode a l'avantage de réduire les frais d'enregistrement. Une longue expérience a démontré qu'il n'avait, ni pour la Ville ni pour les abonnés, aucun des inconvénients qu'on aurait pu craindre.

Digitized by Google

Considérant que ces eaux, inaliénables et imprescriptibles, sont principalement consacrées aux fontaines publiques, aux bornes-fontaines et aux fontaines monumentales, pour l'alimentation de la ville, son assainissement et sa décoration ; mais qu'après avoir satisfait à ces services, l'administration peut disposer de l'excédant des eaux pour des abonnements particuliers, temporaires et à prix d'argent ;

Arrêtons ainsi qu'il suit les conditions de ces abonnements :

Art. 1er. — Les abonnements aux eaux de Paris seront souscrits en forme de soumission à la suite du présent règlement, et approuvés, s'il y a lieu, par nous, sur l'avis de l'ingénieur en chef du service, et par un arrêté spécial.

Ils seront annuels et exprimeront en hectolitres la quantité d'eau à fournir par jour.

Art. 2. — Le mode de délivrance des eaux aura lieu d'après un des systèmes suivants :

1° *Par écoulement déterminé, constant ou intermittent, régulier ou irrégulier*, réglé par un robinet de jauge établi aux frais de l'abonné, et fermé par un cadenas, dont les agents du service des eaux auront seuls la clef; dans ce mode de livraison, les eaux seront reçues dans un réservoir à flotteur, dont la hauteur sera indiquée par l'ingénieur du service ;

2° *Par attachement ;*

3° *Par estimation et sans jaugeage*. Ce dernier mode n'est applicable qu'aux eaux de l'Ourcq. On ne pourra le suivre pour celles des autres provenances que dans des circonstances exceptionnelles, et par autorisation spéciale accordée dans l'arrêté d'approbation de l'abonnement.

Dans tous les cas, la soumission devra indiquer les usages auxquels les eaux seront consacrées : l'abonné ne pourra les employer à d'autres usages, ni consommer plus d'eau que le volume de son abonnement.

Art. 3. — Les abonnés ne pourront renoncer à leur abonnement qu'en avertissant le Préfet de la Seine, par écrit, trois mois à l'avance. Quelle que soit l'époque de l'avertissement, le prix de l'abonnement sera exigible pour les trois mois qui suivront sa réception au secrétariat de la Préfecture.

Art. 4. — L'abonnement ne sera pas résilié par le seul fait de la mutation de la propriété ou de l'établissement où les eaux seront fournies. Le titulaire ou ses héritiers seront responsables du prix de l'abonnement jusqu'à ce qu'ils aient accompli la formalité exigée par l'article précédent, sans préjudice du recours contre le successeur qui aura joui des eaux.

Art. 5. — Les abonnés ne pourront réclamer aucune indemnité pour les interruptions momentanées du service résultant, soit des gelées, des sécheresses et des réparations des conduites, aqueducs et réservoirs, soit du chômage des machines d'exploitation ou de toutes autres causes analogues, et notamment de celles de force majeure ; mais il leur sera tenu compte, en déduction du prix de l'abonnement, de tout le temps d'interruption du service qui excéderait huit jours consécutifs, et qui serait causé par des travaux de l'administration.

Art. 6. — Chaque propriété particulière devra avoir un embranchement séparé avec prise d'eau distincte sur la voie publique. Il ne pourra être fait exception à cette règle que

Digitized by Google

quand deux maisons contiguës, appartenant au même propriétaire, seront mises en communication intérieurement, de manière à pouvoir être considérées comme n'en formant qu'une seule.

Art. 7. — A l'origine de chaque embranchement, sera placé sous la voie publique un robinet d'arrêt sous bouche à clef.

Les agents de l'administration auront seuls le droit de manœuvrer ce robinet, qui aura son carré conforme à celui des robinets de la Ville.

Les abonnés pourront faire placer à l'intérieur de leur propriété un second robinet d'arrêt, à la condition que la clef sera différente de celle de la Ville.

Il est expressément interdit aux abonnés, sous peine de résiliation immédiate, de faire usage des clefs des eaux de la Ville, ou même de les conserver en dépôt.

Art. 8. — Les travaux d'embranchement sur la conduite publique, jusques et y compris le robinet d'arrêt sous bouche à clef, seront exécutés et réparés aux frais des abonnés, sous la surveillance des ingénieurs, par l'entrepreneur de l'entretien des conduites de la Ville, au prix de son adjudication, et d'après le règlement desdits ingénieurs[1].

Au delà dudit robinet, les abonnés pourront employer des ouvriers de leur choix, mais toujours sous la surveillance des ingénieurs, et en se conformant aux règlements de police. Ils pourront aussi s'adresser à l'entrepreneur de la Ville, qui est tenu de faire ces travaux aux prix de la série spéciale de son devis, mais sans rabais.

Les travaux de pavage et de trottoirs seront faits par les soins des ingénieurs du pavé de Paris, aux frais des abonnés, conformément aux arrêtés des 20 décembre 1843 et 18 décembre 1844[2].

Art. 9. — Les abonnés seront exclusivement responsables envers les tiers de tous les dommages auxquels l'établissement ou l'existence de leurs conduites pourrait donner lieu.

[1] D'après l'adjudication passée le 28 septembre 1844 au sieur Bonnin, plombier, demeurant rue de Grenelle-Saint-Germain, 59, pour neuf ans, qui expireront le 1er octobre 1853, ces prix sont les suivants, pour les cas les plus ordinaires :

Prix susceptibles du rabais de 6 fr. 25 cent. pour 100.

Prise d'eau comprenant le premier mètre de conduite, le robinet d'arrêt de 0m,027, et le percement du tuyau public en fonte, savoir :

En terre avec bouche à clef	70f
Dans un égout sans bouche à clef	62

Les colliers à lunette et les boulons sont payés suivant la grosseur des conduites publiques à percer.

Les conduites nouvelles contiennent des mamelons taraudés qui diminuent ces dépenses.

Prix non susceptibles de rabais.

Un mètre de conduite en plomb, de 0m,027, posée en terre	8f	50c
— en galerie	7	60
Un robinet de puisage en plomb, à vis et à soupape, de 0m,027	28	»
Un robinet de jauge, en bronze, à 3 clefs avec cadenas	45	»

Voir, pour plus de détails, l'arrêté du 27 mars 1845.

[2] Ces arrêtés ont fixé ces frais, savoir :

Digitized by Google

Art. 10. — Lors de la mise en jouissance de chaque abonné, il sera dressé en double, contradictoirement, un plan des lieux avec une légende indiquant la nature, la disposition et le diamètre des conduites, ainsi que le nombre et l'emplacement des robinets et orifices d'écoulement.

La même légende fera connaître l'origine et la position de l'embranchement extérieur.

L'abonné ne pourra rien changer aux dispositions primitivement exécutées, à moins d'en avoir préalablement obtenu l'autorisation.

Art. 11. — Il est formellement interdit à tout abonné d'embrancher ou de laisser embrancher sur sa conduite, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, aucune prise d'eau au profit d'un tiers, sans l'autorisation expresse de l'administration.

Il lui est également interdit, sauf le cas d'incendie, de disposer, ni gratuitement, ni à prix d'argent, ni à quelque titre que ce soit, en faveur d'un autre particulier, de la totalité ou d'une partie des eaux qui lui seront fournies, ni même du trop plein de son réservoir. Il ne pourra non plus augmenter à son profit le volume de son abonnement.

Toute contravention aux dispositions du présent article entraînera l'obligation par l'abonné de payer à la ville de Paris, à titre de dommages-intérêts, une indemnité de 1,000 fr.

Art. 12. — Les distributions d'eau pratiquées dans l'intérieur des propriétés particulières seront constamment soumises à l'inspection des ingénieurs et des autres agents de l'administration, sous peine de révocation des abonnements.

Art. 13. — Il est expressément interdit aux abonnés et à tous leurs ayants droit, sous peine de résiliation immédiate, de rémunérer, sous quelque prétexte et sous quelque dénomination que ce puisse être, aucun agent ni ouvrier de l'administration.

Art. 14. — Le prix des abonnements sera déterminé d'après le tarif suivant : fourniture journalière d'un hectolitre d'eau de l'Ourcq, 5 fr. par an ; d'eau de la Seine, des sources ou du puits artésien, 10 fr.[1]

Il ne sera pas accordé d'abonnement au-dessous de la somme de 75 fr. pour les eaux de l'Ourcq, et de 100 fr. pour celles de la Seine, des sources et du puits artésien.

Art. 15. — Le prix de l'abonnement sera payé à la caisse du receveur municipal à

Un mètre superficiel de pavés sur tranchées mesurées avec une largeur d'un pavé en plus, pour raccordement.	3f	»
Un mètre superficiel de dallage en lave ou en granit	3	»
Une bordure à reposer.	1	»
Un mètre superficiel de dallage en bitume avec fondation..	8	»

Les frais seront remboursés à la Ville, suivant le rôle qui en sera dressé.

La ville de Paris aurait grand intérêt, selon nous, à modifier l'art. 8 et à se charger de conduire les eaux jusqu'au mur de face de l'abonné. Les dépenses de prise d'eau et leur entretien sont pour les propriétaires un épouvantail qui les empêche de prendre des abonnements. De plus, il y a toujours de grands inconvénients à admettre des travaux particuliers sur la voie publique.

[1] Cette différence de prix n'est pas motivée. On ne voit pas pourquoi les habitants d'une rue alimentée par l'eau d'Arcueil sont obligés de payer leur abonnement plus cher que si elle l'était en eau d'Ourcq. Cette différence de prix, qui a déjà disparu pour les lavoirs et pour les abonnements très-considérables (voir plus loin), finira, sans doute, par s'effacer complétement.

Digitized by Google

l'Hôtel-de-Ville, par semestre et d'avance, dans le courant des mois de janvier et de juillet de chaque année.

Les abonnements au-dessus de 100 fr. pourront être payés par trimestre, mais toujours d'avance, dans le premier mois de chaque trimestre.

L'abonné pourra payer d'avance le montant de son abonnement d'une année en un seul payement.

A défaut de payement régulier aux époques et de la manière ci-dessus indiquées, le service des eaux sera suspendu, et l'abonnement pourra être résilié.

Art. 16. — Les frais de timbre et d'enregistrement des soumissions et des arrêtés d'abonnement seront supportés par les abonnés.

Art. 17. — Les contraventions au présent règlement seront constatées par procès-verbaux de grande voirie, et poursuivies devant le Conseil de préfecture, conformément à la loi.

Fait à Paris, le 1er août 1846.

Signé Cte DE RAMBUTEAU.

Pour copie conforme :

Le Secrétaire-Général,
Signé F. PARRAN.

Tarif d'abonnement des lavoirs publics.

NOUS, PRÉFET DE LA SEINE,

Vu la délibération prise sur notre proposition, le 28 novembre dernier, par la Commission municipale de Paris, pour la réduction du tarif des abonnements aux eaux en faveur des lavoirs publics, remplissant les conditions de salubrité et d'économie qui seront jugées nécessaires ;

ARRÊTONS :

Art. 1er. A partir du 1er janvier 1852, le tarif des abonnements aux eaux de Paris, pour les lavoirs publics qui rempliront les conditions ci-dessous indiquées, sera fixé, par an, pour chaque hectolitre de fourniture journalière, savoir :

1° A deux francs cinquante centimes pour les eaux de l'Ourcq dans toute la ville, et pour les autres eaux sur les points où il n'en existe que d'une seule nature ;

2° A cinq francs pour les eaux de Seine, des sources ou du puits artésien, sur les points où ces eaux arrivent concurremment avec celles de l'Ourcq et où les abonnés ont la faculté de prendre ces dernières à 2 fr. 50 c.

Art. 2. Le tarif réduit ci-dessus n'est applicable qu'aux lavoirs qui seront reconnus, sur l'avis du Conseil de salubrité et par M. le Préfet de Police, remplir les conditions de salubrité et d'économie ncessaires à ces établissements.

Fait à Paris, le 18 décembre 1851.

Signé BERGER.

Digitized by Google

Réduction du Tarif pour les abonnements considérables.

NOUS, PRÉFET DE LA SEINE,

Vu la délibération du Conseil municipal, en date du 4 mars courant, contenant adoption d'une échelle décroissante dans le tarif des abonnements aux eaux de Paris, au delà d'une fourniture journalière de 50 hectolitres ;

ARRÊTONS :

Art. 1er. Le prix des abonnements aux eaux, à partir du 1er juillet prochain, sera déterminé d'après le tarif suivant :

QUANTITÉ DE LA FOURNITURE JOURNALIÈRE.	PRIX PAR AN pour chaque hectolitre par jour.	
	Ourcq.	Seine et autres.
Premier 1/2 module, équivalant à 1/4 de pouce, ou de 1 à 50 hectolitres.....	5f »	10f »
Deuxième 1/2 module, ou de 51 à 100 hectolitres..	4 »	8 »
Troisième 1/2 module, ou de 101 et au-dessus.....	3 »	6 »

En outre, au delà de 50 hectolitres, le prix de l'eau de l'Ourcq sera appliqué aux autres eaux, sans distinction de nature ni d'origine, s'il n'y a qu'une seule sorte d'eau dans la rue.

Fait à Paris, le 22 Mars 1853.

Signé BERGER.

Digitized by Google

CHAPITRE XV.

TABLES POUR FACILITER LES CALCULS RELATIFS AU MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES CONDUITES FORCÉES ET DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

172. Les formules d'hydraulique qui déterminent les principales circonstances du mouvement de l'eau contiennent des fonctions diverses de la charge, de la vitesse, du diamètre, du débit..., susceptibles d'être calculées, préalablement, dans les limites où elles se présentent dans la pratique; de sorte que les calculs numériques de ces formules peuvent être considérablement abrégés au moyen de tables spéciales. Nous réunissons, à la fin de ce chapitre, toutes celles qui nous paraissent propres à faire obtenir ce résultat; nous allons en indiquer l'usage au moyen de quelques exemples, qui nous donneront l'occasion de rappeler la plupart des formules présentées dans cet ouvrage.

Conversion des mesures de débit.

Il arrive souvent qu'on n'est pas d'accord sur la manière d'évaluer les volumes d'eau. Sans parler du pouce d'eau, dont la définition se trouve plus loin (*Vocab. de Genieys*), les mesures décimales donnent elles-mêmes lieu à quelque confusion, faute de s'entendre sur l'unité de temps : ainsi, un débit peut être évalué par seconde, par minute, par heure, par jour, par an. Nous avons cru utile de mettre tous ces débits en regard les uns des autres, dans la table V, pour éviter les multiplications ou les divisions que nécessiteraient les opérations de conversion. L'usage de cette table est trop simple pour avoir besoin d'être expliqué. Cependant, nous croyons devoir faire observer qu'à cause de la proportionnalité des nombres qu'elle contient, on peut, en cas de besoin, en étendre les limites. Si la quantité donnée est trop petite, on la multiplie par 10, 100, 1000...; si elle est trop grande, on la divise par 10, 100, 1000...

1. *Un orifice débite* $1^{m.c.}$ *par jour : on demande le volume d'eau qui s'écoule par seconde.*

1 mètre cube par jour ne se trouvant pas dans la table, on cherchera dans la même colonne un débit multiple de 1, on trouvera $1002^{m.c.},2$ qui correspond à $0^{m.c.},0116$ par seconde; divisant ce nombre par 1000, on a $0^{m.c.},0000116$.

Digitized by Google

2. *Un cours d'eau débite* $1^{m.c.},70$ *par seconde : on demande le débit par jour.*

On trouve que le débit de $0^{m.c.},017$ correspond à $1469^{m.c.}$; $1^{m.c.},70$ correspond donc à $146\,900^{m.c.}$ par jour, ou 7650°.

Débit en mince paroi.

La vitesse de l'eau, à la sortie d'un orifice en mince paroi, est donnée par la formule

$$U = \sqrt{2gH};$$

elle ne peut donner lieu qu'à deux espèces de questions, qui sont résolues par les deux premières colonnes de la table I.

3. *La charge sur un orifice est* $0^{m},10$: *on demande la vitesse de l'eau à sa sortie.*

En cherchant $0^{m},10$ dans la colonne $\frac{U^2}{2g}$, on trouve en regard $U = 1^{m},40$.

4. *On demande la charge nécessaire pour produire une vitesse de* $2^{m},43$.

En cherchant $2^{m},43$ dans la colonne U, on trouve en regard $H = 0^{m},30$.

Le produit théorique d'un orifice en mince paroi est

$$Q = m\omega\sqrt{2gH};$$

le coefficient m est donné par la table I, et il devient alors facile, à l'aide de cette table et de la table II, de calculer la valeur de Q.

5. *On demande quel est, sous une charge de* $1^{m},50$, *le débit d'un orifice en mince paroi ayant* $0^{m},08$ *de hauteur sur* $0^{m},25$ *de largeur.*

La table I donne $\sqrt{2gH} = 5^{m},43$, on a $\omega = 0^{m.c.},02$, la table II montre que le coefficient m est compris entre 0,611 et 0,620 ; prenant 0,614, on trouve pour le produit réel

$$0,614 \times 0^{m},02 \times 5,43 = 0,^{m.c.},067^{1}223.$$

Quand la contraction n'a lieu que sur un certain nombre de côtés, on multiplie le produit par le coefficient $\left(1 + 0,152\,\frac{n}{p}\right)$, p désignant le périmètre entier de la section, et n la partie de ce périmètre sur laquelle la contraction ne s'exerce pas ; si, dans l'exemple précédent, l'orifice se trouvait près du fond, le débit deviendrait

$$0^{m.c.},06722\left(1 + 0,152\,\frac{0,25}{0,66}\right) = 0^{m.c.},070^{1}8.$$

Digitized by Google

Service d'extrémité ou uniforme en route.

6. *On demande la perte de charge pour une conduite sur laquelle on a :*

$$D = 0^m,25,\ Q \text{ débit d'extrémité} = 0^{m.c.},030,\ L = 5900^m.$$

1re *solution, par la table de M. de Prony.* On détermine d'abord la vitesse $\frac{Q}{\omega}$, la table V donne la section ω du cercle dont le diamètre $D = 0^m,25$, et l'on trouve $U = \frac{0,030}{0,049} = 0^m,611$. On cherche ensuite, dans la table I, la valeur de 1000DJ qui correspond à ce chiffre, et l'on trouve 0,562, dont on déduit

$$H = \frac{0,562}{1000\,D} \times 5900 = 13^m,26.$$

2e *solution, par la formule* $H = L\left(\frac{Q}{20}\right)^2 \frac{1}{D^5}$. On cherche, dans la table V, la valeur de $\left(\frac{Q}{20}\right)^2$ qui correspond à $Q = 0^{m.c.},030$, dans la table IV la valeur de $\frac{1}{D^5}$ qui correspond à $D = 0^m,25$, et l'on obtient ainsi

$$H = 5900^m \times 0,000\,002\,25 \times 1024 = 13^m,59.$$

La différence entre ce résultat et le précédent est à peine de 3 pour 100, c'est-à-dire bien au-dessous du degré d'exactitude dont ces sortes de questions sont susceptibles, ainsi que nous l'avons expliqué dans cet ouvrage.

3e *solution.* On cherche dans la table III [1], et dans la colonne du diamètre $0^m,25$, le débit qui s'approche le plus de $0^{m.c.},030$; on trouve $0^{m.c.},029645$, qui donne une pente par mètre de $2^{mm},25$. On en déduit celle qui correspond à $0^{m.c.},030$, en y ajoutant $\frac{365}{1976}\,0^{mm},29 = 0^{mm},05$; ce qui donne $2^{mm},30$. En multipliant cette quantité par 5900, on obtient $13^m,57$.

Les mêmes procédés de calcul s'appliquent au cas où le débit, au lieu de se faire tout entier à l'extrémité, aurait lieu uniformément en route; seulement il aurait fallu prendre alors le tiers de la valeur de H.

7. *On demande le débit d'une conduite pour laquelle on a :*

$$D = 0^m,35,\ L = 3800^m,\ H = 5^m,70.$$

1re *solution, par la table de M. de Prony.* On forme la fonction $1000\,D\frac{H}{L} =$

[1] L'idée de ces tables est due à M. Mary. Pour qu'elles trouvent une application commode, il faut que la question présente un des diamètres calculés; c'est ce qui arrive assez souvent, parce que la série des diamètres d'une distribution est limitée. En jetant les yeux sur ces tables, on reconnaîtra que le calcul en est très-simple, et chacun pourra en construire de spéciales pour la série de diamètres qu'il aurait adoptée.

Digitized by Google

$= 350 \frac{5,70}{3800} = 0,525$, et l'on trouve dans la table $U = 0^m,59$; multipliant cette vitesse par la section $0^{m.c.},00966$ qui correspond à $D = 0^m,37$ (table IV), on trouve $0^{m.c.},056^l76$.

2e *solution*. On a, en prenant D^5 dans la table IV :

$$\left(\frac{Q}{20}\right)^2 = \frac{HD^5}{L} = \frac{5,70 \times 0,005252}{3800} = 0,000\,007\,878,$$

nombre qui correspond, dans la table V, à $0^{m.c.},056^l$ par seconde, ou 252°.

3e *solution*. On calcule $\frac{H}{L} = \frac{5,70}{3800} = 1^{mm},5$, on cherche dans la table III, colonne du diamètre $0^m,35$, le débit qui correspond à cette charge; on trouve $0^{m.c.},055$ pour $1^{mm},44$, et l'on y ajoute $\frac{6}{23} 4^l,58$, ce qui donne $0^{m.c.},056$.

Les mêmes procédés de calcul s'appliquent au cas où l'on chercherait le débit en route; il suffirait de prendre 3H au lieu de H, c'est-à-dire $17^m,10$, au lieu de $5^m,70$, ou bien de multiplier le résultat par $\sqrt{3} = 1,73$.

8. *On demande le diamètre d'une conduite pour laquelle on a :*

$$Q = 0^{m.c.},076, \quad L = 3800^m, \quad H = 5^m,70.$$

1re *solution, par la table de M. de Prony*. On forme, au moyen des données de la question, la fonction $1000\,000\,000\,QJ^2 = 171$, et l'on trouve, dans la table I, qu'elle correspond à une vitesse $0^m,63$ et à $1000\,DJ = 0,5964$, d'où l'on tire $D = 0^m,397$.

2e *solution*. On a, en prenant $\left(\frac{Q}{20}\right)^2$ dans la table IV,

$$D^5 = \frac{L}{H}\left(\frac{Q}{20}\right)^2 = \frac{3800 \times 0,000\,014\,4}{5,70} = 0,0096,$$

quantité qui correspond, dans la table IV, à un chiffre compris entre $0^m,39$ et $0^m,40$.

3e *solution*. On calcule la pente $\frac{H}{L} = \frac{5,70}{3800} = 1^{mm},5$; on cherche dans la table III le diamètre qui, pour cette charge, donne un débit de $0^{m.c.},076^l$, et l'on trouve que le diamètre $0^m,40$ fournit $0^{m.c.},078^l8$ pour $1^{mm},53$ de charge, par conséquent, $(0^{m.c.},0788 - \frac{3}{17} 4^{m.c.},53)$, ou $0^{m.c.},078^l$ pour $1^{mm},5$; ce diamètre est donc un peu trop fort.

Les méthodes précédentes sont préférables, lorsqu'on désire une plus grande approximation, car le diamètre qui résout la question pourrait se

Digitized by Google

trouver compris entre deux diamètres des tables, et l'interpolation deviendrait difficile.

Les mêmes procédés de calcul s'appliquent au cas où il s'agirait d'un débit en route; il suffirait de multiplier par 3 la charge H donnée, ou de prendre les $\frac{80}{100}$ du résultat final.

9. *On demande la longueur d'une conduite pour laquelle on a :*

$$H = 13^m,59,\ D = 0^m,25,\ Q = 0^{m.c.},030^l.$$

1re *solution, par la table de M. de Prony.* On déterminerait la vitesse comme dans la question 6, et l'on aurait, au moyen de la table I, $1000\,DJ = 0,562$, d'où l'on déduirait

$$L = \frac{1000\,DH}{0,562} = 6045^m.$$

2e *solution.* En prenant dans la table V la valeur de $\left(\frac{Q}{20}\right)^2$, et dans la table IV celle de D^5, on aura

$$L = \frac{HD^5}{\left(\frac{Q}{20}\right)^2} = \frac{13,59 \times 0,000\,977}{0,000\,022\,5} = 5905^m.$$

3e *solution.* On chercherait, dans la table III et dans la colonne $D = 0^m,25$, le débit $0^{m.c.},030$, et après avoir, comme dans la question 6, déterminé la charge par mètre $= 0^{m.c.},0023$, on aurait $L = \frac{13,59}{0,0023} = 5908^m$.

10. *On demande la hauteur à laquelle pourra s'élever un jet d'eau ayant une charge de* 30^m *sur un orifice et alimenté par une conduite pour laquelle on a :*

$$D = 0^m,25,\ Q = 0^{m.c.},030,\ L = 5900^m.$$

On calculera d'abord la perte de charge comme dans la question 6, on en conclura, pour première valeur de h, $30^m - 13^m,59 = 16^m,41$, et l'on aura pour la hauteur du jet

$$h' = h - 0,01h^2 = 16,41 - 0,01(16,41)^2 = 13^m,71.$$

Les questions qui précèdent se résolvent facilement par les tables de logarithmes ou par celles de M. de Prony, et nous convenons que les nôtres n'offriraient pas de grands avantages, si l'on n'avait jamais à traiter que ces sortes de problèmes. Mais on verra que leur usage simplifie beaucoup les calculs dans les questions suivantes, où les autres tables ne

Digitized by Google

pourraient être d'aucun secours. Nous pensons donc qu'en s'en servant exclusivement pour tous les cas, on évitera la confusion et les erreurs qui sont presque toujours la conséquence de l'emploi simultané de plusieurs méthodes.

Conduite complexe à diamètre variable.

11. *On demande le diamètre d'une conduite qui, devant avoir une longueur donnée, fournira le même débit qu'une autre conduite ainsi composée :*

$$l = 700^m, \quad d = 0^m,35,$$
$$l' = 2000^m, \quad d' = 0^m,40,$$
$$l'' = 1100^m, \quad d'' = 0^m,50.$$

En appelant λ et δ la longueur et le diamètre de la nouvelle conduite, on aura :

$$\frac{\lambda}{\delta^5} = l\left(\frac{1}{d^5}\right) + l'\left(\frac{1}{d'^5}\right) + l''\left(\frac{1}{d''^5}\right) = 700 \times 190 + 2000 \times 98 + 1100 \times 32 = 364\,200.$$

En donnant une valeur à λ, on obtient une valeur correspondante pour δ. Si la nouvelle conduite devait être dans l'emplacement de l'ancienne et avoir, par conséquent, la même longueur, on trouverait :

$$\frac{1}{\delta^5} = \frac{364\,200}{3800} = 95,84,$$

nombre qui correspond, dans la table IV, à un diamètre compris entre $0^m,40$ et $0^m,41$.

Si la conduite devait suivre une autre direction sur une longueur de 6000^m, par exemple, on aurait :

$$\frac{1}{\delta^5} = \frac{364\,200}{6000} = 60,70,$$

nombre qui correspond à $D = 0^m,44$.

On pourrait de même se donner le diamètre δ et en conclure la longueur λ : on ne doit pas perdre de vue que la conduite n'est équivalente que pour le débit à l'extrémité.

12. *On demande le diamètre équivalent de la conduite unique qui peut remplacer trois conduites d'égale longueur et dont les diamètres sont*

$$d = 0^m,20, \quad d' = 0^m,30, \quad d'' = 0^m,40.$$

En appliquant la formule

$$\sqrt{\delta^5} = \sqrt{d^5} + \sqrt{d'^5} + \sqrt{d''^5},$$

on trouve, au moyen de la table IV,

Digitized by Google

$$\sqrt{\delta^5}=0,0179+0,0495+0,1012=0,1686,$$

nombre qui correspond à un diamètre compris entre $0^m,49$ et $0^m,50$.

13. *On demande quel doit être le diamètre d'une conduite unique de* 1300^m *de longueur, qui peut remplacer trois conduites ayant les longueurs et les diamètres suivants :*

$$l=1000^m,\quad l'=1500^m,\quad l''=1200^m,$$
$$d=0^m,20,\quad d'=0^m,30,\quad d''=0^m,40.$$

En appliquant la formule

$$\sqrt{\delta^5}=\sqrt{\lambda}\left\{\frac{\sqrt{d^5}}{\sqrt{l}}+\frac{\sqrt{d'^5}}{\sqrt{l'}}+\frac{\sqrt{d''^5}}{l''}\right\},$$

on trouve, au moyen de la table IV,

$$\sqrt{d^5}=\sqrt{1300}\left\{\frac{0,0179}{31,6}+\frac{0,0495}{38,7}+\frac{0,101}{34,6}\right\}=0,172,$$

chiffre correspondant à un diamètre compris entre $0^m,49$ et 0,50.

14. *On demande le débit, sous une charge de* 17^m, *d'un système de trois conduites ainsi composé :*

La première, de $0^m,25$ *de diamètre, s'étend sur* 3300^m *de longueur;*

La deuxième a $0^m,40$ *de diamètre sur* 3800^m *de longueur, et* $0^m,30$ *sur* 750^m *de longueur;*

Ces deux conduites, dont l'origine commune est dans le réservoir supérieur, se réunissent et se rendent au réservoir inférieur, au moyen d'une troisième conduite de $0^m,30$ *de diamètre et de* 3200^m *de longueur.*

Le diamètre moyen de la deuxième conduite est donné par la formule

$$\frac{1}{\delta^5}=\frac{3800\times 98+750\times 417}{4550}=150,72,$$

chiffre qui correspond, dans la table IV, à $0^m,37$ environ.

Le diamètre moyen de la conduite unique qui peut remplacer cette conduite de $0^m,37$, et la première de $0^m,25$, est donné par la relation

$$\frac{\sqrt{\delta'^5}}{\sqrt{3300}}=\frac{\sqrt{(0,25)^5}}{\sqrt{3300}}+\frac{\sqrt{(0,37)^5}}{\sqrt{4550}},$$

d'où l'on tire $\qquad \sqrt{\delta'^5}=0,10336,$

qui correspond à un diamètre un peu plus fort que $0^m,40$. Nous pouvons donc maintenant considérer, à la place du système donné, une conduite unique à diamètre variable, ainsi composée :

Digitized by Google

$0^m,40$ sur 3300^m de longueur,
$0^m,30$ sur 3200^m

Appliquant à cette conduite le calcul du n° 11, on trouve

$$\frac{1}{\delta^{5/2}}=\frac{3300\times\frac{1}{(0,40)^5}+3200\times\frac{1}{(0,30)^5}}{6500}=\frac{3300\times98+3200\times417}{6500}=\frac{1\,651\,400}{6500}=254,$$

chiffre correspondant à un diamètre de $0^m,33$.

Enfin, le système proposé se trouve réduit à une seule conduite ayant un diamètre constant de $0^m,33$ et 6500^m de longueur; le débit, sous la charge donnée, s'obtient donc, en définitive, par la relation

$$\left(\frac{q}{20}\right)^2=\frac{HD^5}{L}=\frac{17\times0,003\,914}{6500}=0,000\,010\,25.$$

En cherchant dans la table V, on trouve que cette valeur de $\left(\frac{q}{20}\right)^2$ correspond à un débit de $0^m,064^l$ ou 288^c.

Si l'on voulait avoir le débit de l'une des deux branches, de celle de $0^m,25$ de diamètre, par exemple, on calculerait la perte de charge correspondant à un débit de $0^m,064$ dans la conduite de $0^m,30$ de diamètre et de 3200^m de longueur, comprise entre le point de jonction et l'orifice extrême, à l'aide de la formule :

$$H=L\left(\frac{q}{20}\right)^2\frac{1}{D^5}=3200\times0,000\,010\,25\times417=13^m68.$$

La charge totale étant de 17^m, la perte commune, dans chacune des deux branches, est de $3^m,32$. Le débit de celle de $0^m,25$ de diamètre et de 3300^m de longueur se déduira, par conséquent, de la relation

$$\left(\frac{q}{20}\right)^2=\frac{HD^5}{L}=\frac{3,32\times0,009\,766}{3300}=0,000\,000\,98,$$

chiffre correspondant, d'après la table V, à un produit de $0^{m.c.},019^l8$ par seconde, ou 89^c. Le débit de l'autre branche sera donc $0^{m.c.},064-0^{m.c.},0198$ ou $0^{m.c.},044^l2$ par seconde, ou 198^c.

15. *Une conduite à diamètre constant, ou qu'on y a ramenée par le calcul, débite à son extrémité* $0^{m.c.},125$: *on demande ce que devient ce produit, lorsqu'on fait une prise de* $0^{m.c.},016^l$ *au quart de la longueur de la conduite.*

Ce débit est donné immédiatement par la formule :

$$q''=Q''-\frac{l}{l+l'}q'=0,125-\frac{1}{4}0,016=0^{m.c.},121^l.$$

Digitized by Google

16. *Une conduite à diamètre constant, ou qu'on y a ramenée par le calcul, débouche, par deux branches, dans deux réservoirs placés à des niveaux différents* (fig. 22), *savoir : le réservoir intermédiaire à* 6^m *et le réservoir inférieur à* 12^m *au-dessous du réservoir supérieur : on demande le débit de ces deux orifices, en supposant qu'on ait :*

pour la branche commune qui part du réservoir d'origine. . $l = 300^m$,
qui va au réservoir le plus bas. . . . . . $l' = 200^m$,
qui va au réservoir intermédiaire. . . . . . $l'' = 600^m$.

Soient q, q', q'' les débits inconnus de ces trois branches.

En vertu de la formule

$$q' < \sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}\left(\sqrt{\frac{H'}{l}} - \sqrt{\frac{H-H'}{l'}}\right),$$

on a

$$q' < \sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}\left(\sqrt{\frac{6}{300}} - \sqrt{\frac{6}{600}}\right) \text{ ou } q' < 0{,}041\sqrt{\frac{d^5}{\gamma}};$$

faisant pour la première partie du calcul $\sqrt{\frac{d^5}{\gamma}} = 1$, ce qui n'altère pas les rapports entre les produits, on aura $q' < 0{,}041$; mais le produit d'extrémité, s'il n'y avait pas de prise en route, serait

$$Q'' = \sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}\sqrt{\frac{H}{l+l'}} = \sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}\sqrt{\frac{12}{900}} = 0{,}116\sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}.$$

La prise q' étant faite au tiers de la longueur, on a

$$q'' > 0{,}116 - \frac{1}{3} \times 0{,}041,$$

ou

$$q'' > 0{,}102.$$

On a ainsi une valeur déjà très-approchée, attendu que l'erreur ne porte que sur q', qui n'entre que pour $\frac{1}{3}$ dans l'expression de q'', et l'on pourrait se contenter de cette approximation, si q' était, avec q, la seule quantité qu'on désirât connaître, car, d'autre part, $q = q' + q'' = 0{,}102 + 0{,}041 = 0{,}143$. Mais si l'on veut avoir une valeur plus approchée de q', on calculera la charge nécessaire, sur le point d'embranchement, pour fournir le débit $0^{m.c.}{,}741$, au moyen de la formule

$$\sqrt{\frac{y}{300}} < 0{,}041, \text{ d'où } y < 0{,}50,$$

ce qui donnera :

Digitized by Google

$$q > \sqrt{\frac{5,50}{300}} \text{ ou } 0,135,$$

$$q'' < \sqrt{\frac{6,50}{600}} \text{ ou } 0,104,$$

et

$$q' > q - q'' \text{ ou } 0,031.$$

On peut déduire de ces valeurs une nouvelle expression de la charge sur le branchement, au moyen de la relation

$$\sqrt{\frac{y}{300}} > 0,031, \text{ d'où l'on tire } y > 0,29,$$

et

$$q < \sqrt{\frac{5,71}{300}} \text{ ou } 0,138,$$

$$q'' > \sqrt{\frac{6,29}{600}} \text{ ou } 0,103,$$

$$q' < q - q'' \text{ ou } 0,035.$$

En posant de nouveau

$$\sqrt{\frac{y}{300}} < 0,035 \text{ ou } y < 0,37,$$

on en déduit

$$q > 0,137,$$
$$q'' < 0,103,$$
$$q' > 0,034.$$

On voit que, par cette méthode, on peut resserrer indéfiniment les limites entre lesquelles se trouve comprise chacune des valeurs, et parvenir ainsi à une approximation aussi grande qu'on le désire. Dans cet exemple, on arriverait plus vite au résultat, si, après avoir déterminé la valeur approchée de q'', on s'en servait pour déterminer y.

Pour avoir les quantités réelles débitées, il suffirait de multiplier les chiffres précédents par $\sqrt{\frac{d^5}{\gamma}}$; ainsi, pour un diamètre de $0^m,25$, ce serait par $\frac{0,031}{0,05} = 0,62$.

Cette méthode de calcul s'applique à tous les problèmes dans lesquels l'eau entre ou sort par deux réservoirs.

Les questions 6, 7, 8 et 9 embrassant tous ces problèmes du service simple en route, nous pouvons passer maintenant au service mixte.

Digitized by Google

Service mixte.

17. *On demande la perte de charge à l'extrémité d'une conduite pour laquelle on a :*

Q *débit uniforme en route* $= 0,^{m}011$, P *débit à l'extrémité* $= 0^{m.c.},010^{l}$,

$$D = 0^{m},25, \quad L = 5900^{m}.$$

En vertu de la formule

$$H = \frac{1}{3}\frac{L}{D}(Q^{2} + 3QP + 3P^{2}), \qquad (22)$$

on déterminerait exactement H; mais, pour cette question et les suivantes, il est plus simple et presque toujours suffisant de se servir de la formule

$$H = \frac{L}{D^{5}}\left(\frac{0,55Q + P}{20}\right)^{2}, \qquad (25)$$

qui donnera

$$H = 1024 \times 5900\left(\frac{0,55 \times 0,011 + 0,010}{20}\right)^{2} = 3^{m},87.$$

18. *On demande le débit* P *à l'extrémité d'une conduite pour laquelle on a :*

$$D = 0^{m},25, \quad L = 5900^{m}, \quad H = 3^{m},87, \quad Q = 0^{m.c.},011.$$

De ces données on tire

$$\left(\frac{0,55 \times 0,011 + P}{20}\right)^{2} = \frac{HD^{5}}{L} = \frac{3,87 \times 0,000977}{5900} = 0,000\,000\,64,$$

nombre qui correspond, dans la table des débits, à $0^{m.c.},016$.

On a donc

$$0,55 \times 0^{m.c.},011 + P = 0^{m.c.},016, \text{ d'où } P = 0^{m.c.},010.$$

Si, avec les mêmes données, on avait connu P au lieu de Q, on aurait eu

$$0,55 \times Q + 0^{m.c.},010 = 0^{m.c.},016,$$

et on en aurait tiré $\qquad Q = 0^{m.c.},011.$

19. *On demande le diamètre d'une conduite pour laquelle on a :*

Q *débit en route* $= 0^{m.c.},011$,
P *débit à l'extrémité* $= 0^{m.c.},010$,
$L = 5900^{m}$, $H = 3^{m},87$.

Digitized by Google

En résolvant la formule (25) par rapport à D^5, on obtient

$$D^5 = \frac{L}{H}\left(\frac{0,55Q+P}{20}\right)^2 = \frac{5900}{3,87}\left(\frac{0,01605}{20}\right)^2 = 0,000977,$$

nombre qui correspond à $D = 0^m25$.

20. *On demande la longueur d'une conduite pour laquelle on a :*

$$D = 0^m,25,\ H = 3^m,87,\ Q = 0^{m.c.},011,\ P = 0^m,010.$$

On trouve, par la même méthode que ci-dessus :

$$L = \frac{HD^5}{\left(\frac{0,55Q+P}{20}\right)^2} = \frac{3,87 \times 0,000977}{0,00000064} = 5901^m.$$

Nota. D'après ces exemples, on voit qu'en général, pour les calculs du service mixte, il faut former la somme $0^m,55Q+P$, la considérer comme un débit à l'extrémité, et appliquer les formules relatives à ce genre de débit.

Service en route par deux réservoirs.

21. *On demande à quelle distance* l *du réservoir supérieur se fait le partage des eaux d'une conduite pour laquelle on a :*

$D = 0^m,35$, $L = 3800^m$, *h différence de niveau entre les deux réservoirs* $= 5^m,70$, Q *débit en route* $= 0^{m.c.},200$.

Si l'on appelle R le débit porté au réservoir inférieur, quand la conduite ne débite rien en route, on a

$$\left(\frac{R}{20}\right)^2 = \frac{hD^5}{L} = \frac{5,70 \times 0,005252}{3800} = 0^m,000\,007\,873.$$

On a du reste, d'après les tables,

$$\left(\frac{Q}{20}\right)^2 = 0,0001.$$

La formule à appliquer est alors

$$l - l' > 3L\frac{\left(\frac{R}{20}\right)^2}{\left(\frac{Q}{20}\right)^2},\quad l - l' < 4L\frac{\left(\frac{R}{20}\right)^2}{\left(\frac{Q}{20}\right)^2},$$

d'où l'on tire

$$l - l' > 897^m,\quad l - l' < 1196^m;$$

la valeur exacte se trouvant beaucoup plus près de la seconde limite que de la première, en prenant $l - l' = 1200^m$, on aurait

$$l = 2500^m,\quad l - l' = 1300^m.$$

Digitized by Google

Si l'on voulait avoir un plus grand degré d'approximation, il faudrait vérifier les équations

$$l^3 - l'^3 = 3\frac{R^2}{Q^2}L^3, \quad l + l' = L.$$

Pour obtenir les quantités d'eau débitées par chacun des réservoirs, il suffirait de multiplier les longueurs l et l' par $\frac{Q}{L}$; ainsi, dans le cas que nous considérons, on aurait :

$$S = 2500\,\frac{0{,}200}{3800} = 0^{m.c.},132, \quad S' = 1300\,\frac{0{,}200}{3800} = 0^{m.c.},168.$$

La perte de charge sur le point de partage se calculerait facilement, au moyen de la formule

$$H = \frac{1}{3}\,\frac{\left(\frac{S}{20}\right)^2 l}{D^5},$$

ou directement, par l'équation

$$H = \frac{1}{3}\,\frac{\left(\frac{Q}{20}\right)^2}{L^2 D^5}\,l^3.$$

Toutes les fois que l est une des données, la question peut toujours se résoudre au moyen de la formule précédente, et par le même calcul que pour le cas du débit uniforme. Nous croyons inutile de nous arrêter à des exemples spéciaux.

Aqueduc rectangulaire.

22. *On demande le débit* Q *d'un aqueduc pour lequel on a :*

$$l \text{ demi-largeur} = 0^m,55, \quad h = 0^m,60, \quad i = 0^m,000\,14.$$

Il suffit de substituer ces nombres dans l'équation

$$\left(\frac{Q}{20}\right)^2 = \frac{l^3 h^3}{l+h}\,\frac{i}{0{,}035};$$

on obtient $$\left(\frac{Q}{20}\right)^2 = 0{,}000\,124,$$

quantité qui correspond à

$$Q = 0^{m.c.},223^l \text{ ou } 1000^o.$$

La vitesse serait $u = \frac{0{,}223}{1{,}10 \times 0{,}6} = 0^m,3378.$

Pour résoudre le même problème au moyen de la table de Mr de Prony,

Digitized by Google

on formera le produit $1000\frac{l+h}{lh}i=\frac{1,15}{0,33}0,14=0,048\,787...$, ce qui donnera pour u un nombre compris entre $0^m,33$ et $0^m,34$ et, par conséquent, le même débit.

23. *On demande la hauteur* h *que prendra l'eau dans un aqueduc pour lequel on a :*

$$l=0^m,55,\ Q=0^{m.c.},223,\ i=0^m,000\,14.$$

Le diamètre du tuyau équivalent serait donné par l'équation

$$D^5=\frac{1}{0,000\,14}\left(\frac{Q}{20}\right)^2=\frac{0,000\,125}{0,000\,14}=0,893,$$

qui correspond à un diamètre de $0^m,98$ et à une section de $0^m,754$. Si l'aqueduc devait avoir la même section, l'on aurait $h=\frac{0,754}{1,10}=0^m,67$; mais nous savons que dans l'aqueduc la vitesse doit être à celle du tuyau à peu près dans le rapport de 109 à 100; nous aurons donc, comme valeur approximative de h, $h=\frac{0,67}{1,09}=0^m,633$. Pour obtenir une valeur plus approchée, on se servira de l'équation

$$h^5=0,035\left(\frac{1+n}{n^3}\right)D^5,$$

dans laquelle on fera $n=\frac{l}{h}=\frac{0,55}{0,61}=0,87$. On en déduira

$$h^5=0,035\times2,84\times0,90=0,0795,$$

nombre qui, dans les tables, correspond à $h=0^m,60$.

La même marche de calcul est applicable au cas où h est donné, car h et l entrent d'une manière symétrique dans l'équation précédente.

24. *On demande la pente* i *d'un aqueduc pour lequel on a :*

$$l=0^m,55,\ h=0^m,60,\ Q=0^{m.c.},223^l.$$

Par la formule applicable à cette question, on a immédiatement :

$$i=0,035\left(\frac{Q}{20}\right)^2\frac{l+h}{l^3h^3}=0,035\times0,000\,125\,\frac{1,15}{0,0359}=0^m,000\,14.$$

Digitized by Google

TABLE I.

HAUTEURS ET FONCTIONS DE LA CHARGE PAR MÈTRE,

CORRESPONDANT AUX VITESSES DE L'EAU DANS LES CONDUITES.

U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000	U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000
m.	m.			m.	m.		
0,01	0,000 01	0,000 8	0,000 005	0,51	0,013 2	0,397 6	63,348 67
0,02	0,000 02	0,002 0	0,000 059	0,52	0,013 8	0,412 8	69,569 20
0,03	0,000 05	0,003 2	0,000 262	0,53	0,014 3	0,428 0	76,268 82
0,04	0,000 09	0,005 2	0,000 786	0,54	0,014 8	0,443 6	83,474 67
0,05	0,000 13	0,006 8	0,001 896	0,55	0,015 4	0,459 6	91,214 88
0,06	0,000 19	0,009 2	0,003 966	0,56	0,016 0	0,475 6	99,518 64
0,07	0,000 26	0,011 6	0,007 498	0,57	0,016 5	0,492 0	108,416 2
0,08	0,000 34	0,014 4	0,013 140	0,58	0,017 1	0,508 8	117,938 7
0,09	0,000 43	0,017 6	0,021 704	0,59	0,017 7	0,526 0	128,118 6
0,10	0,000 51	0,020 8	0,034 185	0,60	0,018 4	0,543 2	138,989 4
0,11	0,000 62	0,024 4	0,051 780	0,61	0,019 0	0,560 8	150,585 6
0,12	0,000 74	0,028 4	0,075 903	0,62	0,019 6	0,578 4	162,942 8
0,13	0,000 87	0,032 4	0,108 208	0,63	0,020 2	0,596 4	176,098 0
0,14	0,001 01	0,037 2	0,150 603	0,64	0,020 9	0,614 8	190,089 2
0,15	0,001 15	0,041 6	0,205 272	0,65	0,021 5	0,633 6	204,955 6
0,16	0,001 31	0,046 8	0,274 691	0,66	0,022 2	0,652 4	220,737 5
0,17	0,001 48	0,052 0	0,361 644	0,67	0,022 9	0,671 6	237,476 7
0,18	0,001 66	0,057 6	0,469 248	0,68	0,023 6	0,691 2	255,216 1
0,19	0,001 85	0,063 6	0,600 966	0,69	0,024 3	0,711 2	273,999 6
0,20	0,002 04	0,069 6	0,760 624	0,70	0,025 0	0,731 2	293,872 9
0,21	0,002 25	0,076 0	0,952 437	0,71	0,025 7	0,751 6	314,882 7
0,22	0,002 47	0,082 8	1,181 017	0,72	0,026 4	0,772 0	337,076 9
0,23	0,002 70	0,089 6	1,451 400	0,73	0,027 2	0,792 8	360,504 9
0,24	0,002 94	0,096 8	1,769 059	0,74	0,027 9	0,814 0	385,217 5
0,25	0,003 19	0,104 4	2,139 925	0,75	0,028 7	0,855 6	411,266 8
0,26	0,003 45	0,112 0	2,570 403	0,76	0,029 5	0,857 2	438,706 3
0,27	0,003 72	0,120 4	3,067 394	0,77	0,030 2	0,879 2	467,590 8
0,28	0,004 00	0,128 8	3,638 309	0,78	0,031 0	0,901 6	497,976 9
0,29	0,004 29	0,137 2	4,291 090	0,79	0,031 8	0,924 0	529,921 9
0,30	0,004 59	0,146 0	5,034 226	0,80	0,032 6	0,947 2	563,485 4
0,31	0,004 90	0,155 2	5,876 776	0,81	0,033 4	0,970 0	598,728 1
0,32	0,005 22	0,164 8	6,828 380	0,82	0,034 3	0,993 6	635,712 0
0,33	0,005 55	0,174 4	7,899 285	0,83	0,035 1	1,017 2	674,501 1
0,34	0,005 89	0,184 8	9,100 358	0,84	0,036 0	1,041 2	715,160 1
0,35	0,006 24	0,194 8	10,443 19	0,85	0,036 8	1,065 2	757,757 0
0,36	0,006 60	0,205 6	11,939 69	0,86	0,037 7	1,090 0	802,359 1
0,37	0,006 97	0,216 4	13,602 96	0,87	0,038 6	1,114 8	849,036 7
0,38	0,007 35	0,227 6	15,446 45	0,88	0,039 5	1,139 6	897,861 6
0,39	0,007 75	0,238 8	17,484 41	0,89	0,040 4	1,165 2	948,906 7
0,40	0,008 16	0,250 8	19,731 82	0,90	0,041 3	1,190 8	1 002,247
0,41	0,008 60	0,262 4	22,204 41	0,91	0,042 2	1,216 8	1 057,959
0,42	0,009 00	0,274 8	24,918 67	0,92	0,043 1	1,242 8	1 116,121
0,43	0,009 40	0,287 2	27,891 91	0,93	0,044 1	1,269 2	1 176,813
0,44	0,009 80	0,300 0	31,142 19	0,94	0,045 0	1,296 0	1 240,117
0,45	0,010 30	0,313 2	34,688 45	0,95	0,046 0	1,323 2	1 306,116
0,46	0,010 80	0,326 8	38,550 42	0,96	0,047 0	1,350 4	1 374,894
0,47	0,011 20	0,340 4	42,748 73	0,97	0,048 0	1,378 0	1 446,540
0,48	0,011 70	0,354 4	47,304 86	0,98	0,049 0	1,406 0	1 521,141
0,49	0,012 20	0,368 4	52,241 21	0,99	0,050 0	1,434 0	1 598,788
0,50	0,012 70	0,382 8	57,581 07	1,00	0,051 0	1,462 4	1 679,574

Digitized by Google

U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000	U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000
m.	m.			m.	m.		
1,01	0,052 0	1,491 2	1 763,592	1,51	0,116 2	3,280 8	12 766,26
1,02	0,053 0	1,520 0	1 850,939	1,52	0,117 7	3,324 0	13 189,09
1,03	0,054 1	1,549 2	1 941,713	1,53	0,119 3	3,367 2	13 623,04
1,04	0,055 1	1,578 8	2 036,013	1,54	0,120 9	3,410 4	14 068,33
1,05	0,056 2	1,608 8	2 133,942	1,55	0,122 5	3,454 4	14 525,20
1,06	0,057 3	1,638 8	2 235,602	1,56	0,124 1	3,498 4	14 993,86
1,07	0,058 4	1,669 2	2 341,100	1,57	0,125 7	3,542 4	15 474,54
1,08	0,059 5	1,699 6	2 450,543	1,58	0,127 3	3,587 2	15 967,46
1,09	0,060 6	1,730 8	2 564,041	1,59	0,128 9	3,632 0	16 472,87
1,10	0,061 7	1,762 0	2 681,705	1,60	0,130 5	3,677 2	16 990,99
1,11	0,062 8	1,793 2	2 803,650	1,61	0,132 1	3,722 4	17 522,07
1,12	0,063 9	1,825 2	2 929,990	1,62	0,133 7	3,768 0	18 066,35
1,13	0,065 1	1,857 2	3 060,843	1,63	0,135 4	3,814 0	18 624,07
1,14	0,066 2	1,889 6	3 196,331	1,64	0,137 1	3,860 4	19 195,47
1,15	0,067 4	1,922 0	3 336,574	1,65	0,138 8	3,906 8	19 780,82
1,16	0,068 6	1,954 8	3 481,696	1,66	0,140 5	3,953 6	20 380,35
1,17	0,069 8	1,988 0	3 631,823	1,67	0,142 2	4,000 8	20 994,34
1,18	0,071 0	2,021 6	3 787,085	1,68	0,144 0	4,048 0	21 623,04
1,19	0,072 2	2,055 2	3 947,612	1,69	0,145 6	4,096 0	22 266,70
1,20	0,073 4	2,089 2	4 113,535	1,70	0,147 3	4,143 6	22 925,61
1,21	0,074 6	2,123 6	4 284,991	1,71	0,149 0	4,192 0	23 600,02
1,22	0,075 8	2,158 0	4 462,117	1,72	0,150 8	4,240 4	24 290,20
1,23	0,077 1	2,192 8	4 645,052	1,73	0,152 5	4,289 2	24 996,44
1,24	0,078 3	2,228 0	4 833,937	1,74	0,154 3	4,338 0	25 719,02
1,25	0,079 7	2,263 2	5 028,917	1,75	0,156 1	4,387 6	26 458,20
1,26	0,080 9	2,298 8	5 230,138	1,76	0,157 9	4,437 2	27 214,29
1,27	0,082 2	2,334 8	5 437,749	1,77	0,159 7	4,486 8	27 987,56
1,28	0,083 5	2,371 2	5 651,900	1,78	0,161 5	4,537 2	28 778,31
1,29	0,084 8	2,407 6	5 872,745	1,79	0,163 3	4,587 6	29 586,83
1,30	0,086 1	2,444 4	6 100,439	1,80	0,165 1	4,638 4	30 413,42
1,31	0,087 5	2,481 6	6 335,142	1,81	0,167 0	4,689 2	31 258,38
1,32	0,088 8	2,518 8	6 577,012	1,82	0,168 8	4,740 4	32 122,02
1,33	0,090 1	2,556 4	6 826,214	1,83	0,170 7	4,792 0	33 004,64
1,34	0,091 5	2,594 4	7 082,912	1,84	0,172 6	4,844 0	33 906,55
1,35	0,092 9	2,632 4	7 347,275	1,85	0,174 5	4,896 0	34 828,08
1,36	0,094 3	2,670 8	7 619,472	1,86	0,176 3	4,948 4	35 769,53
1,37	0,095 7	2,709 6	7 899,677	1,87	0,178 2	5,000 8	36 731,23
1,38	0,097 0	2,748 4	8 188,065	1,88	0,180 1	5,054 0	37 713,51
1,39	0,098 4	2,788 0	8 484,814	1,89	0,182 0	5,107 2	38 716,69
1,40	0,099 9	2,827 6	8 790,104	1,90	0,184 0	5,160 4	39 741,10
1,41	0,101 3	2,867 2	9 104,119	1,91	0,185 9	5,214 4	40 787,08
1,42	0,102 8	2,907 2	9 427,044	1,92	0,187 8	5,268 4	41 854,97
1,43	0,104 2	2,947 6	9 759,067	1,93	0,189 8	5,322 8	42 945,12
1,44	0,105 7	2,988 4	10 100,38	1,94	0,191 8	5,377 2	44 057,85
1,45	0,107 2	3,029 2	10 451,17	1,95	0,193 8	5,432 4	45 193,54
1,46	0,108 6	3,070 8	10 811,65	1,96	0,195 8	5,487 2	46 352,52
1,47	0,110 1	3,112 0	11 182,00	1,97	0,197 8	5,542 8	47 535,16
1,48	0,111 6	3,154 0	11 562,43	1,98	0,199 8	5,598 4	48 741,81
1,49	0,113 1	3,196 0	11 953,15	1,99	0,201 8	5,654 4	49 972,84
1,50	0,114 7	3,238 4	12 354,36	2,00	0,203 9	5,710 8	51 228,62

Digitized by Google

U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000	U VITESSE MOYENNE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante.	$4(\alpha u+\beta u^2)$ ou DJ multiplié par 1000.	QJ^2 multiplié par 1,000,000,000
m.	m.			m.			
2,01	0,205 9	5,767 2	52 509,52	2,51	0,321 1	8,950 4	157 919,5
2,02	0,208 0	5,824 0	53 815,91	2,52	0,323 7	9,021 2	161 065,6
2,03	0,210 0	5,881 2	55 148,18	2,53	0,326 3	9,092 0	164 261,7
2,04	0,212 1	5,938 8	56 506,70	2,54	0,328 9	9,163 2	167 508,3
2,05	0,214 2	5,996 4	57 891,86	2,55	0,331 5	9,234 4	170 806,0
2,06	0,216 3	6,054 4	59 304,05	2,56	0,334 1	9,306 8	174 155,5
2,07	0,218 4	6,112 4	60 743,67	2,57	0,336 7	9,379 2	177 557,2
2,08	0,220 5	6,171 2	62 211,10	2,58	0,339 3	9,451 6	181 012,0
2,09	0,222 6	6,230 0	63 706,76	2,59	0,341 9	9,524 0	184 520,3
2,10	0,224 8	6,288 8	65 231,05	2,60	0,344 6	9,597 2	188 082,9
2,11	0,226 9	6,348 4	66 784,38	2,61	0,347 2	9,670 4	191 700,2
2,12	0,229 1	6,408 0	68 367,16	2,62	0,349 9	9,744 0	195 372,9
2,13	0,231 3	6,467 6	69 979,80	2,63	0,352 6	9,818 0	199 101,8
2,14	0,233 4	6,528 0	71 622,73	2,64	0,355 3	9,892 0	202 887,3
2,15	0,235 6	6,588 4	73 296,37	2,65	0,358 0	9,966 4	206 730,2
2,16	0,237 8	6,649 2	75 001,16	2,66	0,360 7	10,040 8	210 631,2
2,17	0,240 0	6,710 0	76 737,51	2,67	0,363 4	10,116 0	214 590,8
2,18	0,242 2	6,771 2	78 505,89	2,68	0,366 1	10,191 2	218 609,7
2,19	0,244 4	6,832 8	80 306,70	2,69	0,368 8	10,266 8	222 688,6
2,20	0,246 7	6,894 8	82 140,41	2,70	0,371 6	10,342 4	226 828,1
2,21	0,249 0	6,956 8	84 007,46	2,71	0,374 4	10,418 4	231 029,0
2,22	0,251 2	7,019 2	85 908,32	2,72	0,377 1	10,494 8	235 291,9
2,23	0,253 5	7,082 0	87 843,43	2,73	0,379 9	10,571 6	239 617,6
2,24	0,255 7	7,144 8	89 813,25	2,74	0,382 7	10,648 4	244 006,5
2,25	0,258 0	7,208 4	91 818,24	2,75	0,385 5	10,725 6	248 459,6
2,26	0,260 3	7,271 6	93 858,90	2,76	0,388 3	10,802 8	252 977,4
2,27	0,262 6	7,335 6	95 935,66	2,77	0,391 1	10,880 8	257 560,7
2,28	0,264 9	7,399 6	98 049,03	2,78	0,393 9	10,958 8	262 210,2
2,29	0,267 3	7,464 0	100 199,5	2,79	0,396 7	11,036 8	266 926,7
2,30	0,269 6	7,528 8	102 387,5	2,80	0,399 6	11,115 6	271 710,6
2,31	0,272 0	7,593 6	104 613,6	2,81	0,402 5	11,194 4	276 563,0
2,32	0,274 3	7,658 8	106 878,2	2,82	0,405 4	11,273 6	281 484,4
2,33	0,276 7	7,724 0	109 181,8	2,83	0,408 2	11,352 8	286 475,7
2,34	0,279 1	7,790 0	111 525,1	2,84	0,411 1	11,432 4	291 537,6
2,35	0,281 5	7,856 0	113 908,3	2,85	0,414 0	11,512 4	296 670,7
3,36	0,283 9	7,922 4	116 332,2	2,86	0,416 9	11,592 8	301 875,9
2,37	0,286 3	7,988 8	118 797,1	2,87	0,419 8	11,673 2	307 153,8
2,38	0,288 7	8,055 6	121 303,7	2,88	0,422 8	11,754 0	312 505,4
2,39	0,291 1	8,122 8	123 852,3	2,89	0,425 7	11,835 2	317 931,2
2,40	0,293 6	8,190 4	126 443,7	2,90	0,428 7	11,916 4	323 432,2
2,41	0,296 0	8,258 0	129 078,2	2,91	0,431 6	11,998 0	329 009,1
2,42	0,298 5	8,326 0	131 756,4	2,92	0,434 6	12,080 0	334 662,6
2,43	0,301 0	8,394 0	134 479,0	2,93	0,437 6	12,162 0	340 393,6
2,44	0,303 4	8,462 8	137 246,3	2,94	0,440 6	12,244 8	346 202,8
2,45	0,306 0	8,531 6	140 059,0	2,95	0,443 6	12,327 6	352 091,0
2,46	0,308 5	8,600 8	142 917,7	2,96	0,446 6	12,410 4	358 059,1
2,47	0,311 0	8,670 0	145 822,8	2,97	0,449 6	12,493 6	364 107,9
2,48	0,313 5	8,739 6	148 775,0	2,98	0,452 6	12,577 2	370 238,1
2,49	0,316 0	8,809 6	151 774,8	2,99	0,455 7	12,661 2	376 450,6
2,50	0,318 6	8,879 6	154 822,8	3,00	0,458 8	12,745 2	382 746,3

Digitized by Google

SUITE DE LA TABLE PRÉCÉDENTE,

EN CE QUI CONCERNE LES HAUTEURS CORRESPONDANT AUX VITESSES.

U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
3.01	0.4618	3.51	0.6280	4.01	0.8197	4.51	1.0368
3.02	0.4649	3.52	0.6316	4.02	0.8238	4.52	1.0414
3.03	0.4680	3.53	0.6352	4.03	0.8279	4.53	1.0460
3.04	0.4711	3.54	0.6388	4.04	0.8320	4.54	1.0507
3.05	0.4742	3.55	0.6424	4.05	0.8361	4.55	1.0553
3.06	0.4773	3.56	0.6460	4.06	0.8402	4.56	1.0599
3.07	0.4804	3.57	0.6497	4.07	0.8444	4.57	1.0646
3.08	0.4835	3.58	0.6533	4.08	0.8485	4.58	1.0692
3.09	0.4866	3.59	0.6569	4.09	0.8527	4.59	1.0739
3.10	0.4899	3.60	0.6606	4.10	0.8569	4.60	1.0786
3.11	0.4930	3.61	0.6643	4.11	0.8611	4.61	1.0833
3.12	0.4962	3.62	0.6680	4.12	0.8653	4.62	1.0880
3.13	0.4994	3.63	0.6717	4.13	0.8695	4.63	1.0927
3.14	0.5026	3.64	0.6754	4.14	0.8737	4.64	1.0974
3.15	0.5058	3.65	0.6791	4.15	0.8779	4.65	1.1022
3.16	0.5090	3.66	0.6828	4.16	0.8821	4.66	1.1069
3.17	0.5122	3.67	0.6866	4.17	0.8864	4.67	1.1117
3.18	0.5155	3.68	0.6903	4.18	0.8906	4.68	1.1164
3.19	0.5187	3.69	0.6940	4.19	0.8949	4.69	1.1212
3.20	0.5220	3.70	0.6978	4.20	0.8992	4.70	1.1260
3.21	0.5252	3.71	0.7016	4.21	0.9035	4.71	1.1308
3.22	0.5285	3.72	0.7054	4.22	0.9078	4.72	1.1356
3.23	0.5318	3.73	0.7092	4.23	0.9121	4.73	1.1404
3.24	0.5351	3.74	0.7130	4.24	0.9164	4.74	1.1452
3.25	0.5384	3.75	0.7168	4.25	0.9207	4.75	1.1501
3.26	0.5417	3.76	0.7206	4.26	0.9251	4.76	1.1549
3.27	0.5450	3.77	0.7245	4.27	0.9294	4.77	1.1598
3.28	0.5484	3.78	0.7283	4.28	0.9337	4.78	1.1647
3.29	0.5517	3.79	0.7322	4.29	0.9381	4.79	1.1695
3.30	0.5551	3.80	0.7361	4.30	0.9425	4.80	1.1744
3.31	0.5585	3.81	0.7400	4.31	0.9469	4.81	1.1793
3.32	0.5618	3.82	0.7438	4.32	0.9513	4.82	1.1842
3.33	0.5652	3.83	0.7478	4.33	0.9557	4.83	1.1891
3.34	0.5686	3.84	0.7517	4.34	0.9601	4.84	1.1941
3.35	0.5721	3.85	0.7556	4.35	0.9646	4.85	1.1990
3.36	0.5755	3.86	0.7595	4.36	0.9690	4.86	1.2040
3.37	0.5789	3.87	0.7634	4.37	0.9734	4.87	1.2090
3.38	0.5823	3.88	0.7674	4.38	0.9779	4.88	1.2139
3.39	0.5858	3.89	0.7713	4.39	0.9823	4.89	1.2189
3.40	0.5893	3.90	0.7753	4.40	0.9869	4.90	1.2239
3.41	0.5927	3.91	0.7793	4.41	0.9913	4.91	1.2289
3.42	0.5962	3.92	0.7833	4.42	0.9958	4.92	1.2339
3.43	0.5997	3.93	0.7873	4.43	1.0003	4.93	1.2389
3.44	0.6032	3.94	0.7913	4.44	1.0048	4.94	1.2440
3.45	0.6067	3.95	0.7953	4.45	1.0094	4.95	1.2490
3.46	0.6102	3.96	0.7993	4.46	1.0140	4.96	1.2541
3.47	0.6138	3.97	0.8034	4.47	1.0185	4.97	1.2591
3.48	0.6173	3.98	0.8074	4.48	1.0231	4.98	1.2642
3.49	0.6209	3.99	0.8115	4.49	1.0276	4.99	1.2693
3.50	0.6244	4.00	0.8156	4.50	1.0322	5.00	1.2744

Digitized by Google

U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
5.01	1.2795	5.51	1.5476	6.01	1.8412	6.51	2.1603
5.02	1.2846	5.52	1.5532	6.02	1.8473	6.52	2.1670
5.03	1.2897	5.53	1.5588	6.03	1.8535	6.53	2.1736
5.04	1.2948	5.54	1.5645	6.04	1.8596	6.54	2.1803
5.05	1.3000	5.55	1.5701	6.05	1.8658	6.55	2.1869
5.06	1.3051	5.56	1.5758	6.06	1.8720	6.56	2.1936
5.07	1.3103	5.57	1.5815	6.07	1.8782	6.57	2.2003
5.08	1.3155	5.58	1.5872	6.08	1.8843	6.58	2.2070
5.09	1.3206	5.59	1.5929	6.09	1.8905	6.59	2.2137
5.10	1.3258	5.60	1.5986	6.10	1.8968	6.60	2.2205
5.11	1.3311	5.61	1.6043	6.11	1.9030	6.61	2.2272
5.12	1.3363	5.62	1.6100	6.12	1.9092	6.62	2.2339
5.13	1.3415	5.63	1.6157	6.13	1.9155	6.63	2.2407
5.14	1.3467	5.64	1.6215	6.14	1.9217	6.64	2.2474
5.15	1.3520	5.65	1.6272	6.15	1.9280	6.65	2.2542
5.16	1.3572	5.66	1.6330	6.16	1.9343	6.66	2.2610
5.17	1.3625	5.67	1.6388	6.17	1.9405	6.67	2.2678
5.18	1.3678	5.68	1.6446	6.18	1.9468	6.68	2.2746
5.19	1.3730	5.69	1.6503	6.19	1.9531	6.69	2.2814
5.20	1.3784	5.70	1.6562	6.20	1.9595	6.70	2.2883
5.21	1.3837	5.71	1.6620	6.21	1.9658	6.71	2.2951
5.22	1.3890	5.72	1.6678	6.22	1.9721	6.72	2.3019
5.23	1.3943	5.73	1.6736	6.23	1.9785	6.73	2.3088
5.24	1.3996	5.74	1.6795	6.24	1.9848	6.74	2.3156
5.25	1.4050	5.75	1.6854	6.25	1.9912	6.75	2.3225
5.26	1.4103	5.76	1.6912	6.26	1.9976	6.76	2.3294
5.27	1.4157	5.77	1.6971	6.27	2.0039	6.77	2.3363
5.28	1.4211	5.78	1.7030	6.28	2.0103	6.78	2.3432
5.29	1.4265	5.79	1.7089	6.29	2.0167	6.79	2.3501
5.30				6.30	2.0232	6.80	2.3571
	1.4319	5.80	1.7148				
5.31	1.4373	5.81	1.7207	6.31	2.0296	6.81	2.3640
5.32	1.4427	5.82	1.7266	6.32	2.0361	6.82	2.3709
5.33	1.4481	5.83	1.7326	6.33	2.0425	6.83	2.3779
5.34	1.4535	5.84	1.7385	6.34	2.0490	6.84	2.3849
5.35	1.4590	5.85	1.7445	6.35	2.0554	6.85	2.3919
5.36	1.4645	5.86	1.7505	6.35	2.0619	6.86	2.3989
5.37	1.4699	5.87	1.7564	6.37	2.0684	6.87	2.4059
5.38	1.4754	5.88	1.7624	6.38	2.0749	6.88	2.4129
5.39	1.4809	5.89	1.7684	6.39	2.0814	6.89	2.4199
5.40	1.4864	5.90	1.7744	6.40	2.0879	6.90	2.4269
5.41	1.4919	5.91	1.7805	6.41	2.0945	6.91	2.4339
5.42	1.4975	5.92	1.7865	6.42	2.1010	6.92	2.4410
5.43	1.5030	5.93	1.7925	6.43	2.1075	6.93	2.4481
5.44	1.5085	5.94	1.7986	6.44	2.1141	6.94	2.4551
5.45	1.5141	5.95	1.8046	6.45	2.1207	6.95	2.4622
5.46	1.5196	5.96	1.8107	6.46	2.1273	6.96	2.4693
5.47	1.5252	5.97	1.8168	6.47	2.1338	6.97	2.4764
5.48	1.5308	5.98	1.8229	6.48	2.1404	6.98	2.4835
5.49	1.5364	5.99	1.8290	6.49	2.1471	6.99	2.4906
5.50	1.5420	6.00	1.8351	6.50	2.1537	7.00	2.4978

Digitized by Google

U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante	U VITESSE.	$\frac{U^2}{2g}$ HAUTEUR correspondante
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
7.01	2.5049	7.51	2.8750	8.01	3.2705	8.51	3.6916
7.02	2.5121	7.52	2.8826	8.02	3.2787	8.52	3.7003
7.03	2.5192	7.53	2.8903	8.03	3.2869	8.53	3.7090
7.04	2.5264	7.54	2.8980	8.04	3.2951	8.54	3.7177
7.05	2.5336	7.55	2.9057	8.05	3.3033	8.55	3.7264
7.06	2.5408	7.56	2.9134	8.06	3.3115	8.56	3.7351
7.07	2.5480	7.57	2.9211	8.07	3.3197	8.57	3.7438
7.08	2.5552	7.58	2.9288	8.08	3.3280	8.58	3.7526
7.09	2.5624	7.59	2.9365	8.19	3.3362	8.59	3.7613
7.10	2.5696	7.60	2.9443	8.10	3.3445	8.60	3.7701
7.11	2.5769	7.61	2.9520	8.11	3.3527	8.61	3.7789
7.12	2.5841	7.62	2.9598	8.12	3.3610	8.62	3.7876
7.13	2.5914	7.63	2.9676	8.13	3.3693	8.63	3.7964
7.14	2.5987	7.64	2.9754	8.14	3.3776	8.64	3.8052
7.15	2.6060	7.65	2.9832	8.15	3.3859	8.65	3.8141
7.16	2.6132	7.66	2.9910	8.16	3.3942	8.66	3.8229
7.17	2.6205	7.67	2.9988	8.17	3.4025	8.67	3.8317
7.18	2.6279	7.68	3.0066	8.18	3.4108	8.68	3.8405
7.19	2.6352	7.69	3.0144	8.19	3.4192	8.69	3.8494
7.20	2.6425	7.70	3.0223	8.20	3.4275	8.70	3.8583
7.21	2.6499	7.71	3.0301	8.21	3.4359	8.71	3.8671
7.22	2.6572	7.72	3.0380	8.22	3.4443	8.72	3.8760
7.23	2.6646	7.73	3.0459	8.23	3.4526	8.73	3.8849
7.24	2.6720	7.74	3.0538	8.24	3.4610	8.74	3.8938
7.25	2.6794	7.75	3.0617	8.25	3.4695	8.75	3.9028
7.26	2.6868	7.76	3.0696	8.26	3.4779	8.76	3.9117
7.27	2.6942	7.77	3.0775	8.27	3.4863	8.77	3.9206
7.28	2.7016	7.78	3.0854	8.28	3.4947	8.78	3.9295
7.29	2.7090	7.79	3.0933	8.29	3.5032	8.79	3.9385
7.30	2.7164	7.80	3.1013	8.30	3.5116	8.80	3.9475
7.31	2.7239	7.81	3.1092	8.31	3.5201	8.81	3.9565
7.32	2.7313	7.82	3.1172	8.32	3.5286	8.82	3.9654
7.33	2.7388	7.83	3.1252	8.33	3.5371	8.83	3.9744
7.34	2.7463	7.84	3.1332	8.34	3.5455	8.84	3.9834
7.35	2.7538	7.85	3.1412	8.35	3.5541	8.85	3.9925
7.36	2.7613	7.86	3.1492	8.36	3.5626	8.86	4.0015
7.37	2.7688	7.87	3.1572	8.37	3.5711	8.87	4.0105
7.38	2.7763	7.88	3.1652	8.38	3.5796	8.88	4.0196
7.39	2.7838	7.89	3.1733	8.39	3.5882	8.89	4.0286
7.40	2.7914	7.90	3.1813	8.40	3.5968	8.90	4.0377
7.41	2.7989	7.91	3.1894	8.41	3.6053	8.91	4.0468
7.42	2.8065	7.92	3.1974	8.42	3.6139	8.92	4.0559
7.43	2.8140	7.93	3.2055	8.43	3.6225	8.93	4.0650
7.44	2.8216	7.94	3.2136	8.44	3.6311	8.94	4.0741
7.45	2.8292	7.95	3.2217	8.45	3.6397	8.95	4.0832
7.46	2.8368	7.96	3.2298	8.46	3.6483	8.96	4.0923
7.47	2.8444	7.97	3.2380	8.47	3.6570	8.97	4.1015
7.48	2.8521	7.98	3.2461	8.48	3.6656	8.98	4.1106
7.49	2.8597	7.99	3.2542	8.49	3.6743	8.99	4.1198
7.50	2.8673	8.00	3.2624	8.50	3.6829	9.00	4.1290

Digitized by Google

TABLE II.

COEFFICIENTS DE CONTRACTION

DES ORIFICES EN MINCE PAROI.

1° *Les charges étant la hauteur du niveau de l'eau, en un point du réservoir où l'eau est sensiblement stagnante, au-dessus de l'arête supérieure de l'orifice.*

CHARGE sur le sommet des orifices.	VALEURS DU COEFFICIENT m POUR DES HAUTEURS D'ORIFICE DE					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
0.000	»	»	»	»	»	»
0.005	»	»	»	»	»	0.705
0.010	»	»	0.607	0.630	0.660	0.701
0.015	»	0.593	0.612	0.632	0.660	0.697
0.020	0.572	0.596	0.615	0.634	0.659	0.694
0.030	0.578	0.600	0.620	0.638	0.659	0.688
0.040	0.582	0.603	0.623	0.640	0.658	0.685
0.050	0.585	0.605	0.625	0.640	0.658	0.679
0.060	0.587	0.607	0.627	0.640	0.657	0.676
0.070	0.588	0.609	0.628	0.639	0.656	0.673
0.080	0.589	0.610	0.629	0.638	0.656	0.670
0.090	0.591	0.610	0.629	0.637	0.655	0.668
0.100	0.592	0.611	0.630	0.637	0.654	0.666
0.120	0.593	0.612	0.630	0.636	0.653	0.663
0.140	0.595	0.613	0.630	0.635	0.651	0.660
0.160	0.596	0.614	0.631	0.634	0.650	0.658
0.180	0.597	0.615	0.630	0.334	0.649	0.657
0.200	0.598	0.615	0.630	0.633	0.648	0.655
0.250	0.599	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.600	0.616	0.629	0.630	0.644	0.650
0.400	0.602	0.617	0.628	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.644
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.642
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.612	0.611
2.000	0.601	0.607	0.613	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609

Digitized by Google

2° Les charges étant la hauteur du niveau de l'eau, immédiatement au-dessus de l'arête supérieure de l'orifice.

CHARGE sur le sommet des orifices.	VALEURS DU COEFFICIENT m POUR DES HAUTEURS D'ORIFICE DE					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
m.						
0.000	0.619	0.667	0.713	0.766	0.783	0.795
0.005	0.597	0.630	0.668	0.725	0.750	0.778
0.010	0.595	0.618	0.642	0.687	0.720	0.762
0.015	0.594	0.615	0.639	0.674	0.707	0.745
0.020	0.594	0.614	0.638	0.668	0.697	0.729
0.030	0.593	0.613	0.637	0.659	0.685	0.708
0.040	0.593	0.612	0.636	0.654	0.678	0.695
0,050	0.593	0.612	0.636	0.651	0.672	0.686
0.060	0.594	0.613	0.635	0.647	0.668	0.681
0.070	0.594	0.613	0.635	0.645	0.665	0.677
0.080	0.594	0.613	0.635	0.643	0.662	0.675
0.090	0.595	0.614	0.634	0.641	0.659	0.672
0.100	0.595	0.614	0.634	0.640	0.657	0.669
0.120	0.596	0.614	0.633	0.637	0.655	0.665
0.140	0.597	0.614	0.632	0.636	0.653	0.661
0.160	0.597	0.615	0.631	0.635	0.651	0.659
0.180	0.598	0.615	0.631	0.634	0.650	0.657
0.200	0.599	0.615	0.630	0.633	0.649	0.656
0.250	0.600	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.601	0.616	0.629	0.632	0.644	0.651
0.400	0.602	0.617	0.629	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.645
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.643
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.613
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.613	0.611
2.000	0.601	0.607	0.614	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609

Digitized by Google

TABLE III.

DÉBIT DES TUYAUX DE DIVERS DIAMÈTRES SUIVANT LA CHARGE PAR MÈTRE.

1° PETITS DIAMÈTRES.

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,027	0,m054	0m,081	0m,108	0m,135
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		0l,017	0l,096	0l,264	0l,543	0l,948
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
0,1	0,1	0,025	0,136	0,373	0,767	1,339
0,3	0,2	0,041	0,231	0,638	1,309	2,287
0,6	0,3	0,058	0,327	0,902	1,852	3,235
1,0	0,4	0,075	0,423	1,166	2,394	4,183
1,5	0,5	0,092	0,519	1,431	2,937	5,130
2,1	0,6	0,109	0,615	1,695	3,479	6,078
2,8	0,7	0,126	0,711	1,959	4,022	7,026
3,6	0,8	0,143	0,807	2,223	4,564	7,974
4,5	0,9	0,159	0,903	2,488	5,107	8,922
5,5	1,0	0,176	0,999	2,752	5,649	9,869
6,6	1,1	0,193	1,095	3,016	6,192	10,817
7,8	1,2	0,210	1,191	3,281	6,734	11,765
9,1	1,3	0,227	1,286	3,545	7,277	12,713
10,5	1,4	0,244	1,382	3,809	7,819	13,661
12,0	1,5	0,261	1,478	4,073	8,362	14,609
13,6	1,6	0,278	1,574	4,338	8,904	15,556
15,3	1,7	0,295	1,670	4,602	9,447	16,504
17,1	1,8	0,312	1,766	4,866	9,989	17,452
19,0	1,9	0,329	1,862	5,131	10,532	18,400
21,0	2,0	0,346	1,958	5,395	11,074	19,348
23,1	2,1	0,363	2,054	5,659	11,617	20,295
25,3	2,2	0,380	2,150	5,923	12,160	21,243
27,6	2,3	0,397	2,246	6,188	12,702	22,191
30,0	2,4	0,414	2,341	6,452	13,245	23,139
32,5	2,5	0,431	2,437	6,716	13,787	24,087
35,1	2,6	0,448	2,533	6,981	14,330	25,034
37,8	2,7	0,465	2,629	7,245	14,872	25,982
40,6	2,8	0,482	2,725	7,509	15,415	26,930
43,5	2,9	0,499	2,821	7,773	15,957	27,878
46,5	3,0	0,516	2,917	8,038	16,500	28,826
49,6	3,1	0,533	3,013	8,302	17,043	29,773
52,8	3,2	0,550	3,109	8,566	17,585	30,721
56,1	3,3	0,566	3,205	8,831	18,128	31,670
59,5	3,4	0,583	3,301	9,095	18,670	32,617
63,0	3,5	0,600	3,396	9,359	19,213	33,565
66,6	3,6	0,617	3,492	9,623	19,755	34,512
70,3	3,7	0,634	3,588	9,888	20,298	35,460
74,1	3,8	0,651	3,684	10,152	20,840	36,408
78,0	3,9	0,668	3,780	10,416	21,383	37,356
82,0	4,0	0,685	3,876	10,681	21,925	38,304
86,1	4,1	0,702	3,972	10,945	22,468	39,252
90,3	4,2	0,719	4,068	11,209	23,011	40,199
94,6	4,3	0,736	4,164	11,473	23,553	41,147
99,0	4,4	0,753	4,260	11,738	24,096	42,095
103,5	4,5	0,770	4,356	12,002	24,638	43,043
108,1	4,6	0,787	4,451	12,266	25,181	43,991
112,8	4,7	0,804	4,547	12,531	25,723	44,938
117,6	4,8	0,821	4,643	12,795	26,266	45,886
122,5	4,9	0,838	4,739	13,059	26,808	46,834
127,5	5,0	0,855	4,835	13,323	27,351	47,782

Digitized by Google

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,027	0m,054	0m,081	0m,108	0m,135
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		0l,017	0l,096	0l,264	0l,543	0l,948
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
132,6	5,1	0,872	4,931	13,588	27,893	48,730
137,8	5,2	0,889	5,027	13,852	28,436	49,677
143,1	5,3	0,906	5,123	14,116	28,978	50,625
148,5	5,4	0,923	5,219	14,381	29,521	51,573
154,0	5,5	0,939	5,315	14,645	30,063	52,521
159,6	5,6	0,956	5,411	14,909	30,606	53,469
165,3	5,7	0,973	5,506	15,173	31,148	54,416
171,1	5,8	0,990	5,602	15,438	31,691	55,364
177,0	5,9	1,007	5,698	15,702	32,233	56,312
183,0	6,0	1,024	5,794	15,966	32,776	57,260
189,1	6,1	1,041	5,890	16,231	33,319	58,208
195,3	6,2	1,058	5,986	16,495	33,861	59,156
201,6	6,3	1,075	6,082	16,759	34,404	60,103
208,0	6,4	1,092	6,178	17,023	34,946	61,051
214,5	6,5	1,109	6,274	17,288	35,489	61,999
221,1	6,6	1,126	6,370	17,552	36,031	62,947
227,8	6,7	1,143	6,465	17,816	36,574	63,895
234,6	6,8	1,160	6,561	18,081	37,116	64,842
241,5	6,9	1,177	6,657	18,345	37,659	65,790
248,5	7,0	1,194	6,753	18,609	38,201	66,738
255,6	7,1	1,211	6,849	18,873	38,744	67,686
262,8	7,2	1,228	6,945	19,138	39,287	68,634
270,1	7,3	1,245	7,041	19,402	39,829	69,581
277,5	7,4	1,262	7,137	19,666	40,372	70,529
285,0	7,5	1,279	7,233	19,931	40,914	71,477
292,6	7,6	1,296	7,329	20,195	41,457	72,425
300,3	7,7	1,312	7,425	20,459	41,999	73,373
308,1	7,8	1,329	7,520	20,723	42,542	74,320
316,0	7,9	1,346	7,616	20,988	43,084	75,268
324,0	8,0	1,363	7,712	21,252	43,627	76,216
332,1	8,1	1,380	7,808	21,516	44,169	77,164
340,3	8,2	1,397	7,904	21,781	44,712	78,112
348,6	8,3	1,414	8,000	22,045	45,254	79,059
357,0	8,4	1,431	8,096	22,309	45,797	80,007
365,5	8,5	1,448	8,192	22,573	46,339	80,955
374,1	8,6	1,465	8,288	22,838	46,882	81,903
382,8	8,7	1,482	8,384	23,102	47,424	82,851
391,6	8,8	1,499	8,480	23,366	47,967	83,798
400,5	8,9	1,516	8,575	23,631	48,509	84,746
409,5	9,0	1,533	8,671	23,895	49,052	85,694
418,6	9,1	1,550	8,767	24,159	49,595	86,642
427,8	9,2	1,566	8,863	24,423	50,137	87,590
437,1	9,3	1,583	8,959	24,688	50,680	88,538
446,5	9,4	1,600	9,055	24,952	51,222	89,485
456,0	9,5	1,617	9,151	25,216	51,765	90,433
465,6	9,6	1,634	9,247	25,481	52,307	91,381
475,3	9,7	1,651	9,343	25,745	52,850	92,329
485,1	9,8	1,668	9,439	26,009	53,392	93,277
495,0	9,9	1,685	9,535	26,273	53,935	94,224
505,0	10,0	1,702	9,630	26,538	54,477	95,172
515,1	10,1	1,719	9,726	26,802	55,02	96,12

Digitized by Google

2° MOYENS DIAMÈTRES.

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,162	0m,20	0m,25	0m,30	0m,35
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		0l,668	1l,131	1l,976	3l,118	4l,583
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
0,01	0,01	0,668	1,131	1,976	3,118	4,584
0,04	0,03	1,336	2,263	3,953	6,235	9,167
0,09	0,05	2,004	3,394	5,929	9,353	13,751
0,16	0,07	2,672	4,525	7,905	12,470	18,334
0,25	0,09	3,341	5,657	9,882	15,588	22,918
0,36	0,11	4,009	6,788	11,858	18,706	27,501
0,49	0,13	4,677	7,919	13,834	21,823	32,085
0,64	0,15	5,345	9,051	15,811	24,941	36,668
0,81	0,17	6,013	10,182	17,787	28,058	41,252
1,00	0,19	6,681	11,313	19,763	31,176	45,835
1,21	0,21	7,349	12,444	21,740	34,294	50,418
1,44	0,23	8,017	13,575	23,716	37,411	55,002
1,69	0,25	8,685	14,707	25,692	40,529	59,585
1,96	0,27	9,353	15,838	27,669	43,647	64,169
2,25	0,29	10,021	16,969	29,645	46,764	68,752
2,56	0,31	10,689	18,101	31,621	49,882	73,336
2,89	0,33	11,357	19,232	33,598	52,999	77,919
3,24	0,35	12,026	20,363	35,574	56,117	82,503
3,61	0,37	12,694	21,495	37,550	59,235	87,086
4,00	0,39	13,362	22,626	39,527	62,353	91,669
4,41	0,41	14,030	23,757	41,503	65,470	96,253
4,84	0,43	14,698	24,888	43,479	68,588	100,836
5,29	0,45	15,366	26,020	45,456	71,705	105,420
5,76	0,47	16,034	27,151	47,432	74,823	110,003
6,25	0,49	16,702	28,282	49,408	77,941	114,587
6,76	0,51	17,370	29,414	51,385	81,058	119,170
7,29	0,53	18,038	30,545	53,361	84,176	123,754
7,84	0,55	18,706	31,676	55,337	87,293	128,337
8,41	0,57	19,374	32,807	57,313	90,411	132,921
9,00	0,59	20,042	33,939	59,290	93,529	137,504
9,61	0,61	20,710	35,070	61,266	96,646	142,088
10,24	0,63	21,378	36,201	63,243	99,764	146,671
10,89	0,65	22,046	37,333	65,219	102,882	151,255
11,56	0,67	22,715	38,464	67,195	105,999	155,838
12,25	0,69	23,383	39,595	69,172	109,117	160,422
12,96	0,71	24,051	40,726	71,148	112,234	165,005
13,69	0,73	24,719	41,858	73,124	115,352	169,589
14,44	0,75	25,387	42,989	75,101	118,470	174,172
15,21	0,77	26,055	44,120	77,077	121,587	178,756
16,00	0,79	26,723	45,251	79,053	124,705	183,339
16,81	0,81	27,391	46,383	81,030	127,823	187,922
17,64	0,83	28,059	47,514	83,006	130,940	192,506
18,49	0,85	28,727	48,645	84,982	134,058	197,089
19,36	0,87	29,396	49,777	86,959	137,175	201,673
20,25	0,89	30,064	50,908	88,935	140,293	206,256
21,16	0,91	30,732	52,039	90,911	143,411	210,840
22,09	0,93	31,400	53,171	92,888	146,528	215,423
23,04	0,95	32,068	54,302	94,864	149,646	220,007
24,01	0,97	32,736	55,433	96,840	152,763	224,590
25,00	0,99	33,404	56,564	98,817	155,881	229,173

Digitized by Google

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,162	0m,20	0m,25	0m,30	0m,35
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		0l,668	1l,131	1l,976	3l,118	4l,583
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
26,01	1,01	34,072	57,696	100,793	158,999	233,757
27,04	1,03	34,740	58,827	102,769	162,116	238,340
28,09	1,05	35,408	59,958	104,746	165,234	242,924
29,16	1,07	36,076	61,090	106,722	168,352	247,507
30,25	1,09	36,744	62,221	108,698	171,469	252,091
31,36	1,11	37,412	63,352	110,674	174,587	256,674
32,49	1,13	38,080	64,483	112,651	177,704	261,258
33,64	1,15	38,748	65,615	114,627	180,822	265,841
34,81	1,17	39,416	66,746	116,603	183,940	270,425
36,00	1,19	40,084	67,877	118,580	187,057	275,008
37,21	1,21	40,752	69,009	120,557	190,175	279,591
38,44	1,23	41,420	70,140	122,533	193,293	284,175
39,69	1,25	42,088	71,271	124,509	196,410	288,758
40,96	1,27	42,757	72,402	126,485	199,528	293,342
42,25	1,29	43,425	73,534	128,462	202,645	297,925
43,56	1,31	44,093	74,665	130,438	205,763	302,509
44,89	1,33	44,761	75,796	132,414	208,880	307,092
46,24	1,35	45,429	76,928	134,391	211,998	311,676
47,61	1,37	46,097	78,059	136,367	215,116	316,259
49,00	1,39	46,765	79,190	138,344	218,234	320,843
50,41	1,41	47,433	80,321	140,320	221,351	325,426
51,84	1,43	48,101	81,453	142,296	224,469	330,010
53,29	1,45	48,769	82,584	144,272	227,577	334,593
54,76	1,47	49,437	83,715	146,249	230,694	339,177
56,25	1,49	50,105	84,847	148,225	233,812	343,760
57,76	1,51	50,773	85,978	150,201	236,929	348,344
59,29	1,53	51,442	87,109	152,178	240,047	352,927
60,84	1,55	52,110	88,240	154,154	243,165	357,511
62,41	1,57	52,778	89,372	156,130	246,282	362,094
64,00	1,59	53,446	90,503	158,107	249,410	366,677
65,61	1,61	54,114	91,634	160,083	252,528	371,261
67,24	1,63	54,782	92,766	162,060	255,645	375,844
68,89	1,65	55,450	93,897	164,036	258,763	380,428
70,56	1,67	56,118	95,028	166,012	261,880	385,011
72,25	1,69	56,786	96,159	167,988	264,998	389,595
73,96	1,71	57,454	97,291	169,965	268,116	394,178
75,69	1,73	58,122	98,422	171,941	271,233	398,762
77,44	1,75	58,790	99,553	173,917	274,351	403,345
79,21	1,77	59,458	100,685	175,894	277,468	407,929
81,00	1,79	60,126	101,816	177,870	280,586	412,512
82,81	1,81	60,794	102,947	179,847	283,704	417,095
84,64	1,83	61,462	104,078	181,823	286,821	421,679
86,49	1,85	62,131	105,210	183,799	289,939	426,262
88,36	1,87	62,799	106,341	185,776	293,057	430,846
90,25	1,89	63,467	107,472	187,752	296,174	435,429
92,16	1,91	64,135	108,604	189,728	299,292	440,013
94,09	1,93	64,803	109,735	191,704	302,409	444,596
96,04	1,95	65,471	110,866	193,681	305,527	449,180
98,01	1,97	66,139	111,997	195,657	308,645	453,763
100,00	1,99	66,807	113,129	197,634	311,762	458,346
102,01	2,01	67,475	114,260	199,610	314,880	462,930

Digitized by Google

3° GRANDS DIAMÈTRES.

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,40	0m,45	0m,50	0m,60	0m,80
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		4l,529	6l,065	7l,912	12l,480	25l,623
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
0,01	0,01	6,400	8,591	11,180	17,636	36,205
0,03	0,02	10,929	14,656	19,092	30,116	61,828
0,06	0,03	15,458	20,721	27,005	42,595	87,451
0,10	0,04	19,987	26,786	34,917	55,075	113,074
0,15	0,05	24,516	32,851	42,829	67,554	138,697
0,21	0,06	29,045	38,916	50,742	80,034	164,320
0,28	0,07	33,574	44,981	58,654	92,514	189,943
0,36	0,08	38,103	51,046	66,566	104,993	215,566
0,45	0,09	42,632	57,111	74,478	117,473	241,189
0,55	0,10	47,161	63,176	82,391	129,952	266,812
0,66	0,11	51,691	69,240	90,303	142,432	292,435
0,78	0,12	56,220	75,305	98,215	154,912	318,058
0,91	0,13	60,749	81,370	106,128	167,391	343,681
1,05	0,14	65,278	87,435	114,040	179,871	369,304
1,20	0,15	69,807	93,500	121,952	192,350	394,927
1,36	0,16	74,336	99,565	129,865	204,830	420,550
1,53	0,17	78,865	105,630	137,777	217,310	646,173
1,71	0,18	83,394	111,695	145,689	229,789	671,796
1,90	0,19	87,923	117,760	153,601	242,269	697,419
2,10	0,20	92,452	123,824	161,514	254,748	723,042
2,31	0,21	96,982	129,889	169,426	267,229	548,664
2,53	0,22	101,511	135,954	177,338	279,709	574,287
2,76	0,23	106,040	142,019	185,251	292,188	599,910
3,00	0,24	110,569	148,084	193,163	304,668	625,533
3,25	0,25	115,098	154,149	201,075	317,147	651,156
3,51	0,26	119,627	160,214	208,988	329,627	676,779
3,78	0,27	124,156	166,279	216,900	342,107	702,402
4,06	0,28	128,685	172,343	224,812	354,586	728,025
4,35	0,29	133,214	178,408	232,724	367,066	753,648
4,65	0,30	137,743	184,473	240,637	379,545	779,271
4,96	0,31	142,273	190,538	248,549	392,025	804,894
5,28	0,32	146,802	196,603	256,461	404,505	830,517
5,61	0,33	151,331	202,668	264,374	416,984	856,140
5,95	0,34	155,860	208,733	272,286	429,464	881,763
6,30	0,35	160,389	214,798	280,198	441,943	907,386
6,66	0,36	164,918	220,863	288,111	454,423	933,009
7,03	0,37	169,447	226,927	296,023	466,903	958,632
7,41	0,38	173,976	232,992	303,935	479,382	984,255
7,80	0,39	178,505	239,057	311,847	491,862	1009,878
8,20	0,40	183,034	245,122	319,760	504,341	1035,501
8,61	0,41	187,564	251,187	327,672	516,822	1061,123
9,03	0,42	192,093	257,252	335,584	529,302	1086,746
9,46	0,43	196,622	263,317	343,497	541,781	1112,369
9,90	0,44	201,151	269,382	351,409	554,261	1137,992
10,35	0,45	205,680	275,446	359,321	566,740	1163,615
10,81	0,46	210,209	281,511	367,234	579,220	1189,238
11,28	0,47	214,738	287,576	375,146	591,700	1214,861
11,76	0,48	219,267	293,641	383,058	604,179	1240,484
12,25	0,49	223,796	299,706	390,970	616,659	1266,107
12,75	0,50	228,325	305,771	398,883	629,138	1291,730

Digitized by Google

i — CHARGE PAR MÈTRE exprimée en millimètres.	Δi — DIFFÉRENCES VARIABLES.	Q — VOLUMES D'EAU ÉCOULÉS PAR LES TUYAUX DU DIAMÈTRE.				
		0m,40	0m,45	0m,50	0m,60	0m,80
		DIFFÉRENCES CONSTANTES DU DÉBIT PAR DIAMÈTRE.				
		4l,529	6l,065	7l,912	12l,480	25l,623
mm	mm	lit.	lit.	lit.	lit.	lit.
13,26	0,51	232,855	311,836	406,795	641,618	1317,353
13,78	0,52	237,384	317,901	414,707	654,098	1342,976
14,31	0,53	241,913	323,966	422,620	666,577	1368,599
14,85	0,54	246,442	330,030	430,532	679,057	1394,222
15,40	0,55	250,971	336,095	438,444	691,536	1419,845
15,96	0,56	255,500	342,160	446,357	704,016	1445,468
16,53	0,57	260,029	348,225	454,269	716,496	1471,091
17,11	0,58	264,558	354,290	462,181	728,975	1496,714
17,70	0,59	269,087	360,355	470,093	741,455	1522,337
18,30	0,60	273,616	366,420	478,006	753,934	1547,960
18,91	0,61	278,146	372,485	485,918	766,414	1573,582
19,53	0,62	282,675	378,550	493,830	778,894	1599,205
20,16	0,63	287,204	384,614	501,743	791,373	1624,828
20,80	0,64	291,733	390,679	509,655	803,853	1650,451
21,45	0,65	296,262	396,744	517,567	816,332	1676,074
22,11	0,66	300,791	402,908	525,480	828,812	1701,697
22,78	0,67	305,320	408,874	533,392	841,292	1727,320
23,46	0,68	309,849	414,939	541,304	853,771	1752,943
24,15	0,69	314,378	421,004	549,216	866,251	1778,566
24,85	0,70	318,907	427,069	557,129	878,730	1804,189
25,56	0,71	323,437	433,133	565,041	891,211	1829,812
26,28	0,72	327,966	439,198	572,953	903,691	1855,435
27,01	0,73	332,495	445,263	580,866	916,170	1881,058
27,75	0,74	337,024	451,328	588,778	928,650	1906,681
28,50	0,75	341,553	457,393	596,690	941,129	1932,304
29,26	0,76	346,082	463,458	604,603	953,609	1957,927
30,03	0,77	350,611	469,523	612,515	966,089	1983,550
30,81	0,78	355,140	475,588	620,427	978,568	2009,173
31,60	0,79	359,669	481,653	628,339	991,048	2034,796
32,40	0,80	364,198	487,718	636,252	1003,527	2060,419
33,21	0,81	368,728	493,782	644,164	1016,007	2086,041
34,03	0,82	373,257	499,847	652,076	1028,487	2111,664
34,86	0,83	377,786	505,912	659,989	1040,966	2137,287
35,70	0,84	382,315	511,977	667,901	1053,446	2162,910
36,55	0,85	386,844	518,042	675,813	1065,925	2188,533
37,41	0,86	391,373	524,107	683,726	1078,405	2214,156
38,28	0,87	395,902	530,172	691,638	1090,885	2239,779
39,16	0,88	400,431	536,237	699,550	1103,364	2265,402
40,05	0,89	404,960	542,302	707,462	1115,844	2291,025
40,95	0,90	409,489	548,366	715,375	1128,323	2316,648
41,86	0,91	414,019	554,431	723,287	1140,804	2342,271
42,78	0,92	418,548	560,496	731,199	1153,284	2367,894
43,71	0,93	423,077	566,561	739,112	1165,763	2393,517
44,65	0,94	427,606	572,626	747,024	1178,243	2419,140
45,60	0,95	432,135	578,691	754,936	1190,722	2444,763
46,56	0,96	436,664	584,756	762,849	1203,202	2470,386
47,53	0,97	441,193	590,821	770,761	1215,682	2496,009
48,51	0,98	445,722	596,885	778,673	1228,161	2521,632
49,50	0,99	450,251	602,950	786,585	1240,641	2547,255
50,50	1,00	454,780	609,015	794,498	1253,121	2572,878
51,51	1,01	459,31	615,08	802,41	1265,6	2598,5

Digitized by Google

TABLE IV.

FONCTIONS DU DIAMÈTRE.

D	$\sqrt{D}$	D^2	D^3	$\sqrt{D^3}$	$\frac{1}{D}$	$\frac{1}{D^3}$	$\frac{1}{4}\pi D^2$
m.							m.c.
0,010	0,100	0,000 1	0,000 000 000 1	0,000 010	100,00	10 000 000 000	0,000 079
0,020	0,141	0,000 4	0,000 000 003	0,000 057	50,00	312 500 000	0,000 314
0,027	0,167	0,000 7	0,000 000 014	0,000 120	37,03	70 388 636	0,000 573
0,030	0,173	0,000 9	0,000 000 024	0,000 155	33,33	41 152 270	0,000 707
0,040	0,200	0,001 6	0,000 000 102	0,000 320	25,00	9 765 625	0,001 260
0,050	0,224	0,002 5	0,000 000 312	0,000 559	20,00	3 200 000	0,001 96
0,054	0,232	0,002 9	0,000 000 459	0,000 678	18,52	2 177 866	0,002 29
0,060	0,245	0,003 6	0,000 000 778	0,000 882	16,67	1 286 009	0,002 83
0,070	0,265	0,004 9	0,000 001 681	0,001 296	14,29	594 990	0,003 85
0,080	0,283	0,006 4	0,000 003 277	0,001 810	12,50	305 175	0,005 03
0,081	0,285	0,006 6	0,000 003 486	0,001 867	12,35	284 015	0,005 15
0,090	0,300	0,008 1	0,000 005 901	0,002 430	11,11	169 351	0,006 36
0,100	0,316	0,010 0	0,000 010 000	0,003 162	10,00	100 000	0,007 85
0,108	0,329	0,011 7	0,000 014 683	0,003 832	9,26	68 105	0,009 16
0,110	0,332	0,012 1	0,000 016 105	0,004 013	9,09	62 092	0,009 05
0,120	0,346	0,014 4	0,000 024 883	0,004 988	8,33	40 187	0,011 3
0,130	0,361	0,016 9	0,000 037 129	0,006 093	7,69	26 932	0,013 3
0,135	0,367	0,018 2	0,000 044 816	0,006 694	7,41	22 313	0,014 3
0,140	0,374	0,019 6	0,000 053 782	0,007 334	7,14	18 593	0,015 4
0,150	0,387	0,022 5	0,000 075 937	0,008 714	6,67	13 168	0,017 7
0,160	0,400	0,025 6	0,000 104 857	0,010 240	6,25	9 536	0,020 1
0,162	0,402	0,026 2	0,000 111 543	0,010 561	6,17	8 965	0,020 6
0,170	0,412	0,028 9	0,000 141 985	0,011 916	5,88	7 042	0,022 7
0,180	0,424	0,032 4	0,000 188 956	0,013 746	5,55	5 292	0,026 4
0,190	0,436	0,036 1	0,000 266 610	0,015 735	5,26	3 750	0,028 4
0,200	0,447	0,040 0	0,000 320 000	0,017 888	5,00	3 125	0,031 4
0,210	0,458	0,044 1	0,000 408 410	0,020 209	4,76	2 448	0,034 6
0,216	0,463	0,046 7	0,000 460 560	0,021 587	4,63	2 171	0,036 6
0,220	0,469	0,048 4	0,000 515 363	0,022 702	4,55	1 940	0,038 0
0,230	0,480	0,052 9	0,000 643 634	0,025 370	4,35	1 553	0,041 5
0,24	0,490	0,057 6	0,000 796	0,028 2	4,17	1 255	0,045 2
0,25	0,500	0,062 5	0,000 977	0,031 2	4,00	1 024	0,049 1
0,26	0,510	0,067 6	0,001 188	0,034 5	3,85	841,65	0,053 1
0,27	0,520	0,072 9	0,001 435	0,037 9	3,70	696,91	0,057 3
0,28	0,529	0,078 4	0,001 721	0,041 5	3,57	581,04	0,061 6
0,29	0,538	0,084 1	0,002 051	0,045 3	3,45	487,53	0,066 0
0,30	0,547	0,090 0	0,002 410	0,049 5	3,33	417,52	0,070 7
0,31	0,556	0,096 1	0,002 863	0,053 5	3,23	349,29	0,075 5
0,32	0,565	0,102	0,003 355	0,057 9	3,13	298,02	0,080 4
0,325	0,570	0,106	0,003 626	0,060 2	3,07	275,78	0,083 0
0,33	0,574	0,109	0,003 914	0,062 6	3,03	255,52	0,085 5
0,34	0,583	0,116	0,004 544	0,067 5	2,94	220,09	0,090 8
0,35	0,592	0,122	0,005 252	0,072 5	2,86	190,39	0,096 2
0,36	0,600	0,130	0,006 047	0,077 8	2,78	165,38	0,101 8
0,37	0,608	0,137	0,006 934	0,083 3	2,70	144,21	0,107 5
0,38	0,616	0,144	0,007 924	0,089 0	2,63	126,21	0,113 4
0,39	0,624	0,152	0,009 022	0,095 0	2,57	110,83	0,119 5
0,40	0,632	0,160	0,010 240	0,101	2,50	97,65	0,125 7
0,41	0,640	0,168	0,011 586	0,108	2,44	86,31	0,132 0
0,42	0,648	0,176	0,013 069	0,114	2,38	76,32	0,138 5

Digitized by Google

D	$\sqrt{D}$	D^2	D^3	$\sqrt{D^3}$	$\frac{1}{D}$	$\frac{1}{D^2}$	$\frac{1}{4}\pi D^2$
m.							m.c.
0,43	0,656	0,185	0,014 701	0,121	2,33	68,02	0,145
0,44	0,663	0,194	0,016 492	0,128	2,27	60,64	0,152
0,45	0,670	0,202	0,018 453	0,136	2,22	54,19	0,159
0,46	0,678	0,212	0,020 596	0,144	2,17	48,55	0,166
0,47	0,686	0,221	0,022 935	0,151	2,13	43,60	0,173
0,48	0,693	0,230	0,025 480	0,160	2,08	39,25	0,181
0,49	0,700	0,240	0,028 248	0,168	2,04	35,40	0,189
0,50	0,707	0,250	0,031 250	0,177	2,00	32,00	0,196
0,51	0,714	0,260	0,034 503	0,186	1,96	28,98	0,204
0,52	0,721	0,270	0,038 020	0,195	1,92	26,30	0,212
0,53	0,728	0,281	0,041 8	0,204	1,89	23,91	0,221
0,54	0,735	0,292	0,046 2	0,214	1,85	21,63	0,229
0,55	0,742	0,302	0,050 3	0,224	1,82	19,87	0,238
0,56	0,748	0,314	0,055 1	0,235	1,79	18,16	0,246
0,57	0,755	0,325	0,060 2	0,245	1,75	16,62	0,255
0,58	0,762	0,336	0,065 6	0,256	1,72	15,24	0,264
0,59	0,768	0,348	0,071 5	0,267	1,69	13,99	0,273
0,60	0,775	0,360	0,077 8	0,279	1,66	12,86	0,283
0,61	0,781	0,372	0,084 5	0,291	1,64	11,84	0,292
0,62	0,787	0,384	0,091 6	0,303	1,61	10,92	0,302
0,63	0,793	0,397	0,099 2	0,315	1,59	10,08	0,312
0,64	0,800	0,410	0,107 3	0,328	1,56	9,31	0,322
0,65	0,806	0,422	0,116 0	0,341	1,54	8,61	0,332
0,66	0,812	0,436	0,125 2	0,354	1,52	7,99	0,342
0,67	0,819	0,449	0,135 0	0,367	1,49	7,41	0,353
0,68	0,825	0,462	0,145 4	0,381	1,47	6,88	0,363
0,69	0,831	0,476	0,156 4	0,395	1,45	6,39	0,374
0,70	0,837	0,490	0,168 0	0,410	1,43	5,95	0,385
0,71	0,843	0,504	0,180 4	0,425	1,41	5,54	0,396
0,72	0,849	0,518	0,193 5	0,440	1,39	5,17	0,407
0,73	0,854	0,533	0,207	0,455	1,37	4,82	0,419
0,74	0,860	0,548	0,222	0,471	1,35	4,51	0,430
0,75	0,866	0,563	0,237	0,487	1,33	4,21	0,442
0,76	0,872	0,578	0,254	0,504	1,32	3,94	0,454
0,77	0,878	0,593	0,271	0,520	1,30	3,69	0,466
0,78	0,883	0,608	0,289	0,537	1,28	3,46	0,478
0,79	0,889	0,624	0,308	0,555	1,27	3,25	0,490
0,80	0,894	0,640	0,328	0,572	1,25	3,05	0,503
0,81	0,900	0,656	0,349	0,590	1,23	2,87	0,515
0,82	0,906	0,672	0,371	0,609	1,22	2,70	0,528
0,83	0,911	0,689	0,394	0,628	1,20	2,54	0,541
0,84	0,917	0,706	0,418	0,647	1,19	2,39	0,554
0,85	0,922	0,722	0,444	0,666	1,18	2,25	0,567
0,86	0,927	0,740	0,470	0,686	1,16	2,13	0,581
0,87	0,932	0,757	0,498	0,706	1,15	2,01	0,594
0,88	0,938	0,774	0,528	0,726	1,14	1,89	0,608
0,89	0,943	0,792	0,558	0,747	1,12	1,79	0,622
0,90	0,949	0,810	0,590	0,768	1,11	1,69	0,636
0,91	0,954	0,828	0,624	0,790	1,10	1,60	0,650
0,92	0,959	0,846	0,659	0,812	1,09	1,52	0,665
0,93	0,964	0,865	0,696	0,834	1,08	1,44	0,679
0,94	0,970	0,883	0,734	0,857	1,06	1,36	0,694
0,95	0,975	0,902	0,774	0,880	1,05	1,29	0,709
0,96	0,980	0,922	0,815	0,903	1,04	1,23	0,724
0,97	0,985	0,941	0,859	0,927	1,03	1,16	0,739
0,98	0,990	0,960	0,904	0,951	1,02	1,11	0,754
0,99	0,995	0,980	0,951	0,975	1,01	1,05	0,770
1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00	1,00	0,785

Digitized by Google

TABLE V.

FONCTIONS DES VOLUMES A ÉCOULER.

VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS						$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
en pouces.	EN MÈTRES CUBES,					
	par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
0,09	0,000 02	0,001 2	0,072	1,728	631	0,000 001
0,18	0,000 04	0,002 4	0,144	3,456	1 261	0,000 004
0,27	0,000 06	0,003 6	0,216	5,184	1 892	0,000 009
0,36	0,000 08	0,004 8	0,288	6,912	2 523	0,000 016
0,45	0,000 10	0,006 0	0,360	8,640	3 154	0,000 025
0,54	0,000 12	0,007 2	0,432	10,368	3 784	0,000 036
0,63	0,000 14	0,008 4	0,504	12,096	4 415	0,000 049
0,72	0,000 16	0,009 6	0,576	13,824	5 046	0,000 064
0,81	0,000 18	0,010 8	0,648	15,552	5 676	0,000 081
0,90	0,000 20	0,012 0	0,720	17,28	6 307	0,000 100
1,35	0,000 3	0,018	1,08	25,92	9 461	0,000 225
1,80	0,000 4	0,024	1,44	34,56	12 614	0,000 400
2,25	0,000 5	0,030	1,80	43,20	15 768	0,000 625
2,70	0,000 6	0,036	2,16	51,84	12 922	0,000 900
3,15	0,000 7	0,042	2,52	60,48	22 075	0,001 225
3,60	0,000 8	0,048	2,88	69,12	25 229	0,001 600
4,05	0,000 9	0,054	3,24	77,76	28 382	0,002 025
4,50	0,001 0	0,060	3,60	86,40	31 536	0,002 500
4,95	0,001 1	0,066	3,96	95,04	34 690	0,003 025
5,40	0,001 2	0,072	4,32	103,68	37 843	0,003 600
5,85	0,001 3	0,078	4,68	112,32	40 997	0,004 225
6,30	0,001 4	0,084	5,04	121,96	44 150	0,004 900
6,75	0,001 5	0,090	5,40	129,60	47 304	0,005 625
7,20	0,001 6	0,096	5,76	138,24	50 458	0,006 400
7,65	0,001 7	0,102	6,12	146,88	53 611	0,007 225
8,10	0,001 8	0,108	6,48	155,52	56 765	0,008 100
8,55	0,001 9	0,114	6,84	164,16	59 918	0,009 025
9,00	0,002 0	0,120	7,20	172,80	63 072	0,010 0
9,9	0,002 2	0,132	7,92	190,08	69 379	0,012 1
10,8	0,002 4	0,144	8,64	207,36	75 686	0,014 4
11,7	0,002 6	0,156	9,36	224,64	81 994	0,016 9
12,6	0,002 8	0,168	10,08	241,92	88 301	0,019 6
13,5	0,003 0	0,180	10,80	259,20	94 608	0,022 5
14,4	0,003 2	0,192	11,52	276,48	100 915	0,025 6
15,3	0,003 4	0,204	12,24	293,76	107 222	0,028 9
16,2	0,003 6	0,216	12,96	311,04	113 530	0,032 4
17,1	0,003 8	0,228	13,68	328,32	119 837	0,036 1
18,0	0,004 0	0,240	14,40	345,60	126 144	0,040 0
18,9	0,004 2	0,252	15,12	362,88	132 451	0,044 1
19,8	0,004 4	0,264	15,84	380,16	138 758	0,048 4
20,7	0,004 6	0,276	16,56	397,44	145 066	0,052 9
21,6	0,004 8	0,288	17,28	414,72	151 373	0,057 6
22,5	0,005 0	0,300	18,00	432,00	157 680	0,062 5
23,4	0,005 2	0,312	18,72	449,28	163 987	0,067 6
24,3	0,005 4	0,324	19,44	466,56	170 294	0,072 9
25,2	0,005 6	0,336	20,16	483,84	176 602	0.078 4
26,1	0,005 8	0,348	20,88	501,12	182 909	0,084 1
27,0	0,006 0	0,360	21,60	518,40	189 216	0,090 0
27,9	0,006 2	0,372	22,32	535,68	195 523	0,096 1
28,8	0,006 4	0,384	23,04	552,96	201 830	0,102 4

Digitized by Google

en POUCES.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
29,7	0,006 6	0,396	23,76	570,24	208 137	0,108 9
30,6	0,006 8	0,408	24,48	587,52	214 445	0,115 6
31,5	0,007 0	0,420	25,20	604,80	220 752	0,122 5
32,4	0,007 2	0,432	25,92	622,08	227 059	0,129 6
33,3	0,007 4	0,444	26,64	639,36	233 366	0,136 9
34,2	0,007 6	0,456	27,36	656,64	239 674	0,144 4
35,1	0,007 8	0,468	28,08	673,92	245 981	0,152 1
36,0	0,008 0	0,480	28,80	691,20	252 288	0,160 0
36,9	0,008 2	0,492	29,52	708,48	258 595	0,168 1
37,8	0,008 4	0,504	30,24	725,76	264 902	0,176 4
38,7	0,008 6	0,516	30,96	743,04	271 210	0,184 9
39,6	0,008 8	0,528	31,68	760,32	277 517	0,193 6
40,5	0,009 0	0,540	32,40	777,60	283 824	0,202 5
41,4	0,009 2	0,552	33,12	794,88	290 131	0,211 6
42,3	0,009 4	0,564	33,84	812,16	296 438	0,220 9
43,2	0,009 6	0,576	34,56	829,44	302 746	0,230 4
44,1	0,009 8	0,588	35,28	846,72	309 053	0,240 1
45,0	0,010 0	0,600	36,00	864,00	315 360	0,250 0
45,9	0,010 2	0,612	36,72	881,28	321 667	0,260 1
46,8	0,010 4	0,624	37,44	898,56	327 974	0,270 4
47,7	0,010 6	0,636	38,16	915,84	334 282	0,280 9
48,6	0,010 8	0,648	38,88	933,12	340 589	0,291 6
49,5	0,011 0	0,660	39,60	950,40	346 896	0,302 5
50,4	0,011 2	0,672	40,32	967,68	353 203	0,313 6
51,3	0,011 4	0,684	41,04	984,96	359 510	0,324 9
52,2	0,011 6	0,696	41,76	1 002,24	365 818	0,336 4
53,1	0,011 8	0,708	42,48	1 019,52	372 125	0,348 1
54,0	0,012 0	0,720	43,20	1 036,80	378 432	0,360 0
54,9	0,012 2	0,732	43,92	1 054,08	384 739	0,372 1
55,8	0,012 4	0,744	44,64	1 071,36	391 046	0,384 4
56,7	0,012 6	0,756	45,36	1 088,64	397 354	0,396 9
57,6	0,012 8	0,768	46,08	1 105,92	403 661	0,409 6
58,5	0,013 0	0,780	46,80	1 123,20	409 968	0,422 5
59,4	0,013 2	0,792	47,52	1 140,48	416 275	0,435 6
60,3	0,013 4	0,804	48,24	1 157,76	422 582	0,448 9
61,2	0,013 6	0,816	48,96	1 175,04	428 890	0,462 4
62,1	0,013 8	0,828	49,68	1 192,32	435 197	0,476 1
63,0	0,014 0	0,840	50,40	1 209,60	441 504	0,490 0
63,9	0,014 2	0,852	51,12	1 226,88	447 811	0,504 1
64,8	0,014 4	0,864	51,84	1 244,16	454 118	0,518 4
65,7	0,014 6	0,876	52,56	1 261,44	460 426	0,532 9
66,6	0,014 8	0,888	53,28	1 278,72	466 733	0,547 6
67,5	0,015 0	0,900	54,00	1 296,00	473 040	0,562 5
68,4	0,015 2	0,912	54,72	1 313,28	479 347	0,577 6
69,3	0,015 4	0,924	55,44	1 330,56	485 654	0,592 9
70,2	0,015 6	0,936	56,16	1 347,84	491 962	0,608 4
71,1	0,015 8	0,948	56,88	1 365,12	498 269	0,624 1
72,0	0,016 0	0,960	57,60	1 382,40	504 576	0,640 0
72,9	0,016 2	0,972	58,32	1 399,68	510 883	0,656 1
73,8	0,016 4	0,984	59,04	1 416,96	517 190	0,672 4

Digitized by Google

en pouces.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
74,7	0,016 6	0,996	59,76	1 434,24	523 498	0,688 9
75,6	0,016 8	1,008	60,48	1 451,52	529 805	0,705 6
76,5	0,017 0	1,020	61,20	1 468,80	536 112	0,722 5
77,4	0,017 2	1,032	61,92	1 486,08	542 419	0,739 6
78,3	0,017 4	1,044	62,64	1 503,36	548 726	0,756 9
79,2	0,017 6	1,056	63,36	1 520,64	555 034	0,774 4
80,1	0,017 8	1,068	64,08	1 537,92	561 341	0,792 1
81,0	0,018 0	1,080	64,80	1 555,20	567 648	0,810 0
81,9	0,018 2	1,092	65,52	1 572,48	573 955	0,828 1
82,8	0,018 4	1,104	66,24	1 589,76	580 262	0,846 4
83,7	0,018 6	1,116	66,96	1 604,04	586 570	0,864 9
84,6	0,018 8	1,128	67,68	1 624,32	592 877	0,883 6
85,5	0,019 0	1,140	68,40	1 641,60	599 184	0,902 5
86,4	0,019 2	1,152	69,12	1 658,88	605 491	0,921 6
87,3	0,019 4	1,164	69,84	1 676,16	611 798	0,940 9
88,2	0,019 6	1,176	70,56	1 693,44	618 106	0,960 4
89,1	0,019 8	1,188	71,28	1 710,72	624 413	0,980 1
90,0	0,020 0	1,200	72,00	1 728,00	630 720	1,000 0
91,8	0,020 4	1,224	73,44	1 762,56	643 334	1,040 4
93,6	0,020 8	1,248	74,88	1 797,12	655 949	1,081 6
95,4	0,021 2	1,272	76,32	1 831,68	668 563	1,123 6
97,2	0,021 6	1,296	77,76	1 866,24	681 178	1,166 4
99,0	0,022 0	1,320	79,20	1 900,80	693 792	1,210 0
100,8	0,022 4	1,344	80,64	1 935,36	706 406	1,254 4
102,6	0,022 8	1,368	82,08	1 969,92	719 021	1,299 6
104,4	0,023 2	1,392	83,52	2 004,48	731 635	1,345 6
106,2	0,023 6	1,416	84,96	2 039,04	744 250	1,392 4
108,0	0,024 0	1,440	86,40	2 073,60	756 864	1,440 0
109,8	0,024 4	1,464	87,84	2 108,16	769 478	1,488 4
111,6	0,024 8	1,488	89,28	2 142,72	782 093	1,537 6
113,4	0,025 2	1,512	90,72	2 177,28	794 707	1,587 6
115,2	0,025 6	1,536	92,16	2 211,84	807 322	1,638 4
117,0	0,026 0	1,560	93,60	2 246,40	819 936	1,690 0
118,8	0,026 4	1,584	95,04	2 280,96	832 550	1,742 4
120,6	0,026 8	1,608	96,48	2 315,52	845 165	1,795 6
122,4	0,027 2	1,632	97,92	2 350,08	857 779	1,849 6
124,2	0,027 6	1,656	99,36	2 384,64	870 394	1,904 4
126,0	0,028 0	1,680	100,80	2 419,20	883 008	1,960 0
127,8	0,028 4	1,704	102,24	2 453,76	895 623	2,016 4
129,6	0,028 8	1,728	103,68	2 488,32	908 237	2,073 6
131,4	0,029 2	1,752	105,12	2 522,88	920 851	2,131 6
133,2	0,029 6	1,776	106,56	2 557,44	933 466	2,190 4
135,0	0,030 0	1,800	108,00	2 592,00	946 080	2,250 0
136,8	0,030 4	1,824	109,44	2 626,56	958 694	2,310 4
138,6	0,030 8	1,848	110,88	2 661,12	971 309	2,371 6
140,4	0,031 2	1,872	112,32	2 695,68	983 923	2,433 6
142,2	0,031 6	1,896	113,76	2 730,24	996 538	2,496 4
144,0	0,032 0	1,920	115,20	2 765	1 009 152	2,560 0
145,8	0,032 4	1,944	116,64	2 800	1 021 766	2,624 4
147,6	0,032 8	1,968	118,08	2 834	1 034 381	2,689 6

Digitized by Google

en POUCES.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
149,4	0,033 2	1,992	119,52	2 868	1 046 995	2,755 6
151,2	0,033 6	2,016	120,96	2 903	1 059 610	2,822 4
153,0	0,034 0	2,040	122,40	2 938	1 072 224	2,890 0
154,8	0,034 4	2,064	123,84	2 972	1 084 838	2,958 4
156,6	0,034 8	2,088	125,28	3 007	1 097 453	2,027 6
158,4	0,035 2	2,112	126,72	3 041	1 110 067	3,097 6
160,2	0,035 6	2,136	128,16	3 076	1 122 682	3,168 4
162,0	0,036 0	2,160	129,60	3 110	1 135 296	3,240 0
163,8	0,036 4	2,184	131,04	3 145	1 147 910	3,312 4
165,6	0,036 8	2,208	132,48	3 180	1 160 525	3,385 6
167,4	0,037 2	2,232	133,92	3 214	1 173 139	3,459 6
169,2	0,037 6	2,256	135,36	3 249	1 185 754	3,534 4
171,0	0,038 0	2,280	136,80	3 283	1 198 368	3,610 0
172,8	0,038 4	2,304	138,24	3 318	1 210 982	3,686 4
174,6	0,038 8	2,328	139,68	3 352	1 223 597	3,763 6
176,4	0,039 2	2,352	141,12	3 387	1 236 211	3,841 6
178,2	0,039 6	2,376	142,56	3 421	1 248 826	3,920 4
180,0	0,040 0	2,400	144,00	3 456	1 261 440	4,000 0
181,8	0,040 4	2,424	145,44	3 491	1 274 054	4,080 4
183,6	0,040 8	2,448	146,88	3 525	1 286 669	4,161 6
185,4	0,041 2	2,472	148,32	3 560	1 299 283	4,243 6
187,2	0,041 6	2,496	149,76	3 594	1 311 898	4,326 4
189,0	0,042 0	2,520	151,20	3 629	1 324 512	4,410 0
190,8	0,042 4	2,544	152,62	3 663	1 337 126	4,494 4
192,6	0,042 8	2,568	154,08	3 698	1 349 741	4,579 6
194,4	0,043 2	2,592	155,52	3 732	1 362 355	4,665 6
196,2	0,043 6	2,616	156,96	3 767	1 374 970	4,752 4
198,0	0,044 0	2,640	158,40	3 802	1 387 584	4,840 0
199,8	0,044 4	2,664	159,84	3 836	1 400 198	4,928 4
201,6	0,044 8	2,688	161,28	3 871	1 412 813	5,017 6
203,4	0,045 2	2,712	162,72	3 905	1 425 427	5,107 6
205,2	0,045 6	2,736	164,16	3 940	1 438 042	5,198 4
207,0	0,046 0	2,760	165,60	3 974	1 450 656	5,290 0
208,8	0,046 4	2,784	167,04	4 009	1 463 270	5,382 4
210,6	0,046 8	2,808	168,48	4 043	1 475 885	5,475 6
212,4	0,047 2	2,832	169,92	4 078	1 488 499	5,569 6
214,2	0,047 6	2,856	171,36	4 113	1 501 114	5,664 4
216,0	0,048 0	2,880	172,80	4 147	1 513 728	5,760 0
217,8	0,048 4	2,904	174,24	4 182	1 526 342	5,856 4
219,6	0,048 8	2,928	175,68	4 216	1 538 957	5,953 6
221,4	0,049 2	2,952	177,12	4 251	1 551 571	6,051 6
223,2	0,049 6	2,976	178,56	4 285	1 564 186	6,150 4
225,0	0,050 0	3,000	180,00	4 320	1 576 800	6,250 0
229,5	0,051	3,06	183,60	4 406	1 608 336	6,502 5
234	0,052	3,12	187,20	4 493	1 639 872	6,760 0
238,5	0,053	3,18	190,80	4 579	1 671 408	7,022 5
243	0,054	3,24	194,40	4 666	1 702 944	7,290 0
247,5	0,055	3,30	198,00	4 752	1 734 480	7,562 5
252	0,056	3,36	201,60	4 838	1 766 016	7,840 0
256,5	0,057	3,42	205,20	4 925	1 797 552	8,122 5

Digitized by Google

en pouces.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
261	0,058	3,48	208,80	5 011	1 829 088	8,410 0
265,5	0,059	3,54	212,40	5 098	1 860 624	8,702 5
270	0,060	3,60	216,00	5 184	1 892 160	9,000 0
274,5	0,061	3,66	219,60	5 270	1 923 696	9,302 5
279	0,062	3,72	223,20	5 357	1 955 232	9,610 0
283,5	0,063	3,78	226,80	5 443	1 986 768	9,922 5
288	0,064	3,84	230,40	5 530	2 018 304	10,240 0
292,5	0,065	3,90	234,00	5 616	2 049 840	10,562 5
297	0,066	3,96	237,60	5 702	2 081 376	10,890 0
301,5	0,067	4,02	241,20	5 789	2 112 912	11,222 5
306	0,068	4,08	244,80	5 875	2 144 448	11,560 0
310,5	0,069	4,14	248,40	5 962	2 175 984	11,902 5
315	0,070	4,20	252,00	6 048	2 207 520	12,250 0
319,5	0,071	4,26	255,60	6 134	2 239 056	12,602 5
324	0,072	4,32	259,20	6 221	2 270 592	12,960 0
328,5	0,073	4,38	262,80	6 307	2 302 128	13,322 5
333	0,074	4,44	266,40	6 394	2 333 664	13,690 0
337,5	0,075	4,50	270,00	6 480	2 365 200	14,062 5
342	0,076	4,56	273,60	6 566	2 396 736	14,440 0
346,5	0,077	4,62	277,20	6 653	2 428 272	14,822 5
351	0,078	4,68	280,80	6 739	2 459 808	15,210 0
355,5	0,079	4,74	284,40	6 826	2 491 344	15,602 5
360	0,080	4,80	288,00	6 912	2 522 880	16,000 0
364,5	0,081	4,86	291,60	6 998	2 554 416	16,402 5
369	0,082	4,92	295,20	7 085	2 585 952	16,810 0
373,5	0,083	4,98	298,80	7 171	2 617 488	17,222 5
378	0,084	5,04	302,40	7 258	2 649 024	17,640 0
382,5	0,085	5,10	306,00	7 344	2 680 560	18,062 5
387	0,086	5,16	309,60	7 430	2 712 096	18,490 0
391,5	0,087	5,22	313,20	7 517	2 743 632	18,922 5
396	0,088	5,28	316,80	7 603	2 775 168	19,360 0
400,5	0,089	5,34	320,40	7 690	2 806 704	19,802 5
405	0,090	5,40	324,00	7 776	2 838 240	20,250 0
409,5	0,091	5,46	327,60	7 862	2 869 776	20,702 5
414	0,092	5,52	331,20	7 949	2 901 312	21,160 0
418,5	0,093	5,58	334,80	8 035	2 932 848	21,622 5
423	0,094	5,64	338,40	8 122	2 964 384	22,090 0
427,5	0,095	5,70	342,00	8 208	2 995 920	22,562 5
432	0,096	5,76	345,60	8 294	3 027 456	23,040 0
436,5	0,097	5,82	349,20	8 381	3 058 992	23,522 5
441	0,098	5,88	352,80	8 467	3 090 528	24,010 0
445,5	0,099	5,94	356,40	8 554	3 122 064	24,502 5
450	0,100	6,00	360,00	8 640	3 153 600	25,000 0
459	0,102	6,12	367,20	8 813	3 216 672	26,01
468	0,104	6,24	374,40	8 986	3 279 744	27,04
477	0,106	6,36	381,60	9 158	3 342 816	28,09
486	0,108	6,48	388,80	9 331	3 405 888	29,16
495	0,110	6,60	396,00	9 504	3 468 960	30,25
504	0,112	6,72	403,20	9 677	3 532 032	31,36
513	0,114	6,84	410,40	9 850	3 595 104	32,49

Digitized by Google

en POUCES.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
522	0,116	6,96	417,60	10 022	3 658 176	33,64
531	0,118	7,08	424,80	10 295	3 721 248	34,81
540	0,120	7,20	432,00	10 368	3 784 320	36,00
549	0,122	7,32	439,20	10 541	3 847 392	37,21
558	0,124	7,46	446,40	10 714	3 910 464	38,44
567	0,126	7,56	453,60	10 886	3 973 536	39,69
576	0,128	7,68	460,80	11 059	4 036 608	40,96
585	0,130	7,80	468,00	11 232	4 099 680	42,25
594	0,132	7,92	475,20	11 405	4 162 752	43,56
603	0,134	8,04	482,40	11 578	4 225 824	44,89
612	0,136	8,16	489,60	11 750	4 288 896	46,24
621	0,138	8,28	496,80	11 923	4 351 968	47,61
630	0,140	8,40	504,00	12 096	4 415 040	49,00
639	0,142	8,52	511,20	12 269	4 478 112	50,41
648	0,144	8,64	518,40	12 442	4 541 184	51,84
657	0,146	8,76	525,60	12 614	4 604 256	53,29
666	0,148	8,88	532,80	12 787	4 667 328	54,76
675	0,150	9,00	540,00	12 960	4 730 400	56,25
684	0,152	9,12	547,20	13 133	4 793 472	57,76
693	0,154	9,24	554,40	13 306	4 856 544	59,29
702	0,156	9,36	561,60	13 478	4 919 616	60,84
711	0,158	9,48	568,80	13 651	4 982 688	62,41
720	0,160	9,60	576,00	13 824	5 045 760	64,00
729	0,162	9,72	583,20	13 997	5 108 832	65,61
738	0,164	9,84	590,40	14 170	5 171 904	67,24
747	0,166	9,96	597,60	14 342	5 234 976	68,89
756	0,168	10,08	604,80	14 515	5 298 048	70,56
765	0,170	10,20	612,00	14 688	5 361 120	72,25
774	0,172	10,32	619,20	14 861	5 424 192	73,96
783	0,174	10,44	626,40	15 034	5 487 264	75,69
792	0,176	10,56	633,60	15 206	5 550 336	77,44
801	0,178	10,68	640,80	15 379	5 613 408	79,21
810	0,180	10,80	648,00	15 552	5 676 480	81,00
819	0,182	10,92	655,20	15 725	5 739 552	82,81
828	0,184	11,04	662,40	15 898	5 802 624	84,64
837	0,186	11,16	669,60	16 070	5 865 696	86,49
846	0,188	11,28	676,80	16 243	5 928 768	88,36
855	0,190	11,40	684,00	16 416	5 991 840	90,25
864	0,192	11,52	691,20	16 589	6 054 912	92,16
873	0,194	11,64	698,40	16 762	6 117 984	94,09
882	0,196	11,76	705,60	16 934	6 181 056	96,04
891	0,198	11,88	712,80	17 107	6 244 128	98,01
900	0,200	12,00	720,00	17 280	6 307 200	100,00
918	0,204	12,24	734,40	17 626	6 433 344	104,04
936	0,208	12,48	748,80	17 971	6 559 488	108,16
954	0,212	12,72	763,20	18 317	6 685 632	112,36
972	0,216	12,96	777,60	18 662	6 811 776	116,64
990	0,220	13,20	792,00	19 008	6 937 920	121,00
1008	0,224	13,44	806,40	19 354	7 064 064	125,44
1026	0,228	13,68	820,80	19 699	7 190 208	129,96

Digitized by Google

en pouces.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
1 044	0,232	13,92	835,20	20 045	7 316 352	134,56
1 062	0,236	14,16	849,60	20 390	7 442 496	139,24
1 080	0,240	14,40	864,00	20 736	7 568 640	144,00
1 098	0,244	14,64	878,40	21 082	7 694 784	148,84
1 116	0,248	14,88	892,80	21 427	7 820 928	153,76
1 134	0,252	15,12	907,20	21 773	7 947 072	158,76
1 152	0,256	15,36	921,60	22 118	8 073 216	163,84
1 170	0,260	15,60	936,00	22 464	8 199 360	169,00
1 188	0,264	15,84	950,40	22 810	8 325 504	174,24
1 206	0,268	16,08	964,80	23 155	8 451 648	179,56
1 224	0,272	16,32	979,20	23 501	8 577 792	184,96
1 242	0,276	16,56	993,60	23 846	8 703 936	190,44
1 260	0,280	16,80	1 008,00	24 192	8 830 080	196,00
1 278	0,284	17,04	1 022,40	24 538	8 956 224	201,64
1 296	0,288	17,28	1 036,80	24 883	9 082 368	207,36
1 314	0,292	17,52	1 051,20	25 229	9 208 512	213,16
1 332	0,296	17,76	1 065,60	25 574	9 334 656	219,04
1 350	0,300	18,00	1 080m.c.	25 920	9 460 800	225,00
1 395	0,310	18,60	1 116	26 784	9 776 160	240,25
1 440	0,320	19,20	1 152	27 648	10 091 520	256,00
1 485	0,330	19,80	1 188	28 512	10 406 880	272,25
1 530	0,340	20,40	1 224	29 376	10 722 240	289,00
1 575	0,350	21,00	1 260	30 240	11 037 600	306,25
1 620	0,360	21,60	1 296	31 104	11 352 960	324,00
1 665	0,370	22,20	1 332	31 968	11 668 320	342,25
1 710	0,380	22,80	1 368	32 832	11 983 680	361,00
1 755	0,390	23,40	1 404	33 696	12 299 040	380,25
1 800	0,400	24,00	1 440	34 560	12 614 400	400,00
1 845	0,410	24,60	1 476	35 424	12 929 760	420,25
1 890	0,420	25,20	1 512	36 288	13 245 120	441,00
1 935	0,430	25,80	1 548	37 152	13 560 480	462,25
1 980	0,440	26,40	1 584	38 016	13 875 840	484,00
2 025	0,450	27,00	1 620	38 880	14 191 200	506,25
2 070	0,460	27,60	1 656	39 744	14 506 560	529,00
2 115	0,470	28,20	1 692	40 608	14 821 920	552,25
2 160	0,480	28,80	1 728	41 472	15 137 280	576,00
2 205	0,490	29,40	1 764	42 336	15 452 640	600,25
2 250	0,500	30,00	1 800	43 200	15 768 000	625,00
2 340	0,520	31,20	1 872	44 928	16 398 720	676
2 430	0,540	32,40	1 944	46 656	17 029 440	729
2 520	0,560	33,60	2 016	48 384	17 660 160	784
2 610	0,580	34,80	2 088	50 112	18 290 880	841
2 700	0,600	36,00	2 160	51 840	18 921 600	900
2 790	0,620	37,20	2 232	53 568	19 552 320	961
2 880	0,640	38,40	2 304	55 296	20 183 040	1 024
2 970	0,660	39,60	2 376	57 024	20 813 760	1 089
3 060	0,680	40,80	2 448	58 752	21 444 480	1 156
3 150	0,700	42,00	2 520	60 480	22 075 200	1 225
3 240	0,720	43,20	2 592	62 208	22 705 920	1 296
3 330	0,740	44,40	2 664	63 936	23 336 640	1 369

Digitized by Google

en pouces.	VOLUMES D'EAU A ÉCOULER EXPRIMÉS EN MÈTRES CUBES, par seconde.	par minute.	par heure.	par jour.	par an.	$1\,000\,000\left(\frac{Q}{20}\right)^2$
p.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	m.c.	
3 420	0,760	45,60	2 736	65 664	23 967 360	1 444
3 510	0,780	46,80	2 808	67 392	24 598 080	1 521
3 600	0,800	48,00	2 880	69 120	25 228 800	1 600
3 690	0,820	49,20	2 952	70 848	25 859 520	1 681
3 780	0,840	50,40	3 024	72 576	26 490 240	1 764
3 870	0,860	51,60	3 096	74 304	27 120 960	1 849
3 960	0,880	52,80	3 168	76 032	27 751 680	1 936
4 050	0,900	54,00	3 240	77 760	28 382 400	2 025
4 140	0,920	55,20	3 312	79 488	29 013 120	2 116
4 230	0,940	56,40	3 384	81 216	29 643 840	2 209
4 320	0,960	57,60	3 456	82 944	30 274 560	2 304
4 410	0,980	58,80	3 528	84 672	30 905 280	2 401
4 500	1,000	60,00	3 600	86 400	31 536 000	2 500
4 590	1,020	61,20	3 672	88 128	32 166 720	2 601
4 680	1,040	62,40	3 744	89 856	32 797 440	2 704
4 770	1,060	63,60	3 816	91 584	33 428 160	2 809
4 860	1,080	64,80	3 888	93 312	34 058 880	2 916
4 950	1,100	66,00	3 960	95 040	34 689 600	3 025
5 040	1,120	67,20	4 032	96 768	35 320 320	3 136
5 130	1,140	68,40	4 104	98 496	35 951 040	3 249
5 310	1,180	70,80	4 248	102 952	37 212 480	3 481
5 490	1,220	73,20	4 392	105 408	38 473 920	3 721
5 670	1,260	75,60	4 536	108 864	39 735 360	3 969
5 850	1,300	78,00	4 680	112 320	40 996 800	4 225
6 030	1,340	80,40	4 824	115 776	42 258 240	4 489
6 210	1,380	82,80	4 968	119 232	43 519 680	4 761
6 390	1,420	85,20	5 112	122 688	44 781 120	5 041
6 570	1,460	87,60	5 256	126 144	46 042 560	5 329
6 750	1,500	90,00	5 400	129 600	47 304 000	5 625
6 930	1,540	92,40	5 544	133 056	48 565 440	5 929
7 200	1,600	96,00	5 760	138 240	50 457 600	6 400
7 470	1,660	99,60	5 976	143 424	52 349 760	6 889
7 740	1,720	103,20	6 192	148 608	54 241 920	7 396
8 010	1,780	106,80	6 408	153 792	56 134 080	7 921
8 280	1,840	110,40	6 624	158 976	58 026 240	8 464
8 550	1,900	114,00	6 840	164 160	59 918 400	9 025
8 820	1,960	117,60	7 056	169 344	61 810 560	9 604
9 090	2,020	121,20	7 272	174 528	63 702 720	10 201
9 360	2,080	124,80	7 488	179 712	65 594 880	10 816
9 630	2,140	128,40	7 704	184 896	67 487 040	11 449
10 080	2,240	134,40	8 064	193 536	70 640 640	12 544
10 440	2,320	139,20	8 352	200 448	73 163 520	13 456
10 800	2,400	144,00	8 640	207 360	75 686 400	14 400
11 160	2,480	148,80	8 928	214 272	78 209 280	15 376
11 520	2,560	153,60	9 216	221 184	80 732 160	16 384
11 880	2,640	158,40	9 504	228 096	83 255 040	17 424
12 240	2,720	163,20	9 792	235 008	85 777 920	18 496
12 600	2,800	168,00	10 080	241 920	88 300 800	19 600
12 960	2,880	172,80	10 368	248 832	90 823 680	20 736
13 320	2,960	177,60	10 656	255 744	93 346 560	21 904

Digitized by Google

Digitized by Google

SECONDE PARTIE.

EXTRAIT

DE

L'ESSAI SUR LES MOYENS DE CONDUIRE,

D'ÉLEVER ET DE DISTRIBUER LES EAUX

PAR GENIEYS

Ancien ingénieur en chef du Service municipal de Paris;

ET

DESCRIPTION DES FILTRES NATURELS DE TOULOUSE

PAR D'AUBUISSON

Ancien ingénieur en chef des Mines.

Digitized by Google

Digitized by Google

INTRODUCTION HISTORIQUE.

L'art de conduire les eaux remonte à l'origine des sociétés. Il a dû se perfectionner à mesure que les progrès de la civilisation ont fait mieux sentir les avantages que procure la jouissance facile d'eaux salubres et abondantes.

On a beaucoup parlé des travaux entrepris en Égypte, dans la plus haute antiquité, pour corriger les irrégularités des crues du Nil, encaisser ses eaux et diriger leur cours. L'Asie a aussi ses traditions, mais elles n'excitent pas cet intérêt universel qui fait si bien accueillir les souvenirs des peuples qui se mêlent à nos origines. Nous nous contenterons de présenter ici la description des monuments hydrauliques des Romains. Aucun peuple ne les égala dans ce genre d'établissements publics, et leurs restes sont assez nombreux en France pour qu'on puisse avoir souvent l'occasion de les étudier.

Appius Clodius fit construire le premier aqueduc dont il est fait mention dans l'histoire romaine (an 312 avant J.-C.).

Après l'eau *Appia*, qui porte son nom, on conduisit successivement à Rome l'*Anio vieux* (an 273 av. J.-C.), l'eau *Marcia* (an 146 av. J.-C.), l'eau *Tepula* (an 127 av. J.-C.), l'eau *Julia* (an 35 av. J.-C.), et l'eau *Vierge* (an 22 av. J.-C.).

L'agrandissement de Rome exigeant encore une plus grande quantité d'eau, Agrippa, gendre d'Auguste, rendit son édilité célèbre par les soins qu'il prit de réparer les anciens aqueducs, d'en construire de nouveaux, et de multiplier les fontaines jaillissantes dans la ville.

Digitized by Google

On fait remonter à cette époque (an 17 av. J.-C.) la construction de l'aqueduc de Nîmes, et on l'attribue également à Agrippa, qui gouverna pendant quelque temps une partie de la Gaule, devenue colonie romaine.

Caligula commença la construction de deux autres aqueducs (an 35 de l'ère vulgaire). L'empereur Claude les acheva, dans la suite, avec beaucoup de magnificence, et les consacra aux usages publics (an 49). Ils amenaient les eaux *Claudia* et du *nouvel Anio*. C'est aussi sous le règne de cet empereur que l'on place la construction des aqueducs de Lyon et de Metz.

Frontin, qui fut nommé par Nerva surintendant des eaux de Rome (an 98), a donné la description des neuf aqueducs qui existaient à Rome de son temps. Il indique pour chacun d'eux le lieu de la source d'où il tire ses eaux, sa distance de Rome, la longueur des aqueducs tant en canaux souterrains qu'au-dessus de terre, la quantité d'eau qu'ils fournissent, et comment elle était distribuée.

Pour avoir une idée de la magnificence de ces ouvrages et de leur importance, il suffira de dire que la longueur totale des aqueducs était de 41 myriamètres, qui répondent à 107 lieues de poste. Les trois quarts de cette longueur étaient en conduits souterrains voûtés, et pour le surplus hors de terre, huit lieues étaient en arcades qui avaient jusqu'à 32 mètres de hauteur.

C'est surtout près de Rome qu'on voyait ces aqueducs s'élever pour arriver au sommet des monts renfermés dans l'enceinte de la ville. Le premier aqueduc ne portait les eaux d'*Appia* qu'à $8^m,37$ au-dessus du sol du quai le long du Tibre, tandis que le dernier construit les portait à $47^m,52$ au-dessus du même niveau. Aussi se terminait-il par un rang d'arcades de 9,639 mètres de longueur.

Le volume d'eau fourni par ces aqueducs était de 785,000 mètres cubes en 24 heures, équivalant à 40,900 pouces de fontainier, ou six fois plus que l'on ne se propose d'en distribuer dans Paris. Et encore Frontin

Digitized by Google

déclare-t-il dans son Commentaire qu'on aurait pu le doubler en recueillant toutes les eaux interceptées par la fraude, ou qui se perdaient par négligence.

La plus grande partie de ces eaux était destinée aux usages publics. Elles coulaient nuit et jour par les fontaines, elles se rendaient ensuite par des canaux souterrains dans les thermes et dans les naumachies, où elles arrivaient en assez grande abondance pour qu'on pût y simuler des combats de vaisseaux ; ce genre de spectacle plaisait beaucoup aux Romains, et l'on ne craignait pas de faire de grandes dépenses pour en faire jouir le peuple. Auguste fit construire un aqueduc de 32,925 mètres de longueur pour faire conduire à Rome l'eau *Alsietina*, qu'il destinait à sa naumachie. L'empereur Claude transforma le lac Fucin en naumachie, en faisant placer tout autour des siéges pour les spectateurs. Les provinces imitèrent en ceci la capitale de l'empire : on a reconnu des restes de naumachie à Metz et à Saintes.

Toutes les eaux de Rome n'étaient pas également limpides, également salubres ; ce qui détermina à les classer suivant les usages auxquels on les destinait. L'eau *Marcia* fut placée au premier rang et réservée tout entière pour la boisson. Le *vieil Anio*, au contraire, fut destiné à l'arrosement des jardins et aux besoins les plus ordinaires de l'économie domestique.

On ne négligeait rien pour la conservation des aqueducs, qu'on regardait comme un des principaux témoignages de la grandeur du peuple romain.

Frontin rapporte dans son Commentaire les sénatus-consultes qui formaient la jurisprudence des Romains sur la conservation et l'administration des aqueducs et des eaux, et Poleni a recueilli les lois ou constitutions impériales rendues depuis Frontin, jusques et compris celles de l'empereur Justinien.

En voici les principales dispositions :

Digitized by Google

Sous la république, le soin des eaux était confié aux censeurs et aux édiles.

Sous l'empire, les administrateurs des eaux étaient nommés par l'empereur, et confirmés par le sénat.

Ils étaient tenus de veiller à ce que les fontaines publiques coulassent très-exactement pendant le jour et la nuit pour l'usage du peuple.

Celui qui désirait jouir de l'eau publique devait en obtenir la permission du prince.

L'administrateur désignait le *calice* ou tuyau de jauge qui convenait à la quantité accordée, et l'orifice du tuyau de plomb qu'on y adaptait devait être le même que celui du calice jusqu'à 16 mètres de distance.

Aucun particulier ne pouvait tirer de l'eau des canaux publics; il fallait que le tuyau de concession partît du château-d'eau.

Le droit de concession d'eau ne pouvait être transmis ni à l'héritier, ni à l'acquéreur, ni enfin à aucun nouveau propriétaire des domaines : le titre de concession était renouvelé avec le possesseur. Mais, pour les bains publics, ils jouissaient du privilége de conserver perpétuellement les eaux qui leur étaient une fois accordées.

Les travaux d'entretien des aqueducs étaient confiés à 700 individus environ, divisés en différentes classes d'agents, tels que les contrôleurs, les gardiens de château, les inspecteurs, les paveurs, les faiseurs d'enduits et les autres ouvriers; ils étaient payés par le trésor public, qui se trouvait défrayé de cette dépense par la rentrée des impositions provenant du droit des eaux.

Tout ce qui pouvait être tiré des champs des particuliers, comme la terre, la glaise, la pierre, la brique, le sable, les bois et les autres matériaux nécessaires, après avoir été estimé par des arbitres, était pris et enlevé sans que personne pût s'y opposer.

Pour le transport de ces matériaux, il était pratiqué, toutes les fois que le besoin l'exigeait, des chemins ou sentiers au travers des champs des particuliers, en les dédommageant.

Digitized by Google

Pour faciliter les réparations des canaux et des conduits, il n'était permis de construire des édifices, ni de planter des arbres qu'à la distance de 1^{m},62 de chaque côté des canaux apparents ou souterrains qui étaient dans l'intérieur des villes. Il devait y avoir un isolement de 4^{m},87 de chaque côté des fontaines, murs et voûtes des aqueducs en pleine campagne.

Si quelque propriétaire faisait des difficultés pour vendre la partie de son champ dont on avait besoin, on l'achetait en entier et on revendait le surplus, afin d'établir d'une manière certaine le droit des limites des particuliers et celui de la république.

De fortes amendes étaient prononcées contre ceux qui, par mauvaise intention et à dessein, avaient percé, rompu, ou tenté de percer et de rompre les canaux, les conduits souterrains, les tuyaux, les châteaux-d'eau et les réservoirs dépendants des eaux publiques; qui avaient intercepté ou diminué l'écoulement des eaux, fait des plantations ou constructions dans l'espace de terrain qui devait rester libre.

L'empereur Constantin ayant transféré le siége de l'empire à Constantinople (an 328), ce fut désormais pour cette seconde Rome que s'exécutèrent les nouveaux ouvrages.

Il existe dans la vallée de *Bourgas* trois aqueducs qui portent des eaux dans cette ville. Le plus remarquable passe dans le pays pour avoir été fait sous le règne de Justinien (an 527).

Ces aqueducs diffèrent de ceux de Rome en ce qu'ils ne forment pas une ligne continue, ayant une pente uniforme depuis la source jusqu'au château-d'eau. A la rencontre d'une vallée, d'un bas-fond ou d'un pli de terrain, on se dispensait quelquefois de soutenir le canal par des arcades, et on le remplaçait par des conduites en siphon renversé qui dessinait le contour de la vallée. Lorsque la vallée avait trop d'étendue, on élevait des piles de distance en distance, couronnées par une cuvette ou bassin; ces piles portent le nom de *souterazi*. Un tuyau partant de l'extrémité de la première partie de l'aqueduc, conduit l'eau du canal dans la première cu-

Digitized by Google

vette. Un second tuyau la reçoit ensuite et la remonte à une autre cuvette; et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elle soit parvenue sur le sommet du revers opposé du coteau, où la seconde partie du canal prenait son origine. On perdait par là la vitesse acquise par l'eau dans la première partie de l'aqueduc, et la portion de charge absorbée par les frottements dans les tuyaux, mais on diminuait de beaucoup les dépenses de construction.

Nous avons déjà parlé de quelques aqueducs construits dans les Gaules par les Romains, et particulièrement des aqueducs de Nîmes, de Lyon et de Metz. On pourrait encore en citer plusieurs autres qui attestent également l'importance qu'ils attachaient à la jouissance d'une grande abondance d'eau. Pendant le court séjour que Julien fit à Paris (an 360), il fit construire l'aqueduc d'Arcueil, qui conduisait les eaux de Rungis au palais des Thermes. Un autre aqueduc souterrain prenait son commencement sur les hauteurs de Chaillot, à la source des eaux minérales de ce lieu, traversait les emplacements des Champs-Elysées, d'une partie des jardins des Tuileries, et aboutissait vraisemblablement vers le milieu de l'emplacement occupé par le jardin du Palais-Royal. On a découvert, en effet, en 1781, vers l'extrémité méridionale de ce jardin, à un mètre au-dessous du sol, un bassin ou réservoir de construction romaine, dont la forme était un carré de $6^{m},50$ de côté, et en même temps des médailles d'Aurélien, de Dioclétien, de Posthume, de Magnence, de Crispe et de Valentinien Ier. L'époque du règne de ce dernier empereur doit être celle de la construction du bassin (an 375).

Après la chute de l'empire romain, les peuples furent plongés dans la barbarie, le flambeau de la civilisation perdit de son éclat; et non-seulement l'on ne vit plus s'élever de grands monuments, mais les anciens furent abandonnés.

On doit à Philippe Auguste d'avoir fait le premier conduire dans Paris, pour l'usage de ses habitants, une portion des eaux des prés Saint-Gervais et de Belleville (de 1180 à 1223).

Digitized by Google

Henri IV fit élever les eaux de la Seine par une machine hydraulique, dont il ordonna l'établissement sous une des arches du Pont-Neuf (an 1606). La mort le surprit lorsqu'il songeait à rétablir l'ancien aqueduc d'Arcueil. Ce projet, entrepris et exécuté par Marie de Médicis, fut terminé en 1624. En 1670, on construisit la pompe du pont Notre-Dame. Mais ce fut surtout sous le règne de Louis XIV qu'on vit s'élever de beaux monuments hydrauliques.

Avant d'en donner la description, nous allons parler des trois aqueducs de Rome restaurés par les papes, qui fournissent actuellement dans cette ville les eaux désignées sous les noms d'*aqua Vergine*, d'*aqua Felice* et d'*aqua Paola*.

L'aqueduc antique, dont l'eau s'appelait *aqua Virgo*, alimente la belle fontaine de Trevi, et arrive à une petite hauteur au-dessus du Tibre.

L'aqueduc construit ou restauré par le pape Sixte V conduit l'eau appelée *aqua Felice* sur le mont Quirinal, à la fontaine de Moïse, à une hauteur de 54 mètres au-dessus de l'étiage.

L'aqueduc construit par Trajan, l'an 112 de notre ère, alimente la fontaine Pauline, sur le Janicule, placée 64 mètres au-dessus des basses eaux du Tibre.

Ces trois fontaines se font remarquer par la belle ordonnance de l'architecture et par les ornements de la sculpture; mais elles ne sont devenues un objet d'admiration que parce qu'elles répandent des torrents d'eau. La fontaine Pauline dépense 1800 pouces, et celle de la place Saint-Pierre au Vatican, composée d'une simple coupe élevée sur un piédouche, 300 pouces.

Les trois aqueducs fournissent, d'après les expériences faites en 1809 par M. Vici, directeur des eaux de Rome, 150,000 mètres cubes en 24 heures, ou 7500 pouces d'eau, mesure de Paris.

Les Romains avaient eu une supériorité éminente sur tous les peuples de l'antiquité dans la construction des monuments pour la conduite des

Digitized by Google

eaux; l'Italie avait conservé pendant plusieurs siècles la prééminence romaine; mais, sous Louis XIV, la France se plaça au-dessus de l'Italie, non-seulement par les grands travaux hydrauliques que ce prince fit entreprendre aux environs de Paris, mais surtout par les recherches et les expériences sur le mouvement de l'eau, tant dans les canaux que dans les rivières et dans les tuyaux de conduite; c'est là surtout ce qui doit faire absoudre ce prince du reproche tant répété d'avoir voulu vaincre la nature à Versailles, pour transformer un site sauvage en un lieu de délices. Du haut de la terrasse, devant le château, une perspective magnifique se présente; elle commence entre les deux grands bassins du parterre, continue le long des belles rampes et terrasses qui descendent en amphithéâtre dans le parc, se prolonge entre deux rangées de vases et de statues de marbre sur un large tapis de pelouse, et se termine à un vaste canal, au delà duquel elle se perd dans le lointain.

A droite et à gauche, au milieu des bosquets, on découvre des pièces d'eau qui forment un ensemble ravissant, dont aucune description ne peut donner une juste idée : des jets qui s'élèvent jusqu'à 85 pieds de hauteur, des cascades, des bains ; Neptune lançant son redoutable trident soit pour calmer, soit pour exciter les flots; Apollon sortant du sein des eaux sur un char traîné par quatre coursiers, au milieu d'un peuple de tritons, de dauphins et de monstres marins; Ancelade écrasé par une masse de rochers, et dont la bouche vomit une colonne d'eau d'un volume extraordinaire, etc., etc.

Les eaux sont fournies par plusieurs étangs et réunies par des aqueducs dans des réservoirs qui dominent tout le parc. Les ouvrages principaux entrepris à cette époque pour les rassembler consistent, d'après M. Bruyère : 1° dans l'exécution des digues, bondes, murs et terrassements relatifs à l'établissement d'environ 25 étangs, retenues ou réservoirs; 2° en 112,000 mètres de longueur de rigoles; 3° en 34,000 mètres de longueur d'aqueducs ayant 1, 2 et 3 mètres de largeur, dont plusieurs sont souterrains, et qui tous, exécutés en meulière, sont assez

Digitized by Google

bien conservés ; 4° enfin, dans le grand pont-aqueduc de Buc, de 600 mètres de longueur et de 40 mètres au-dessus de la Bièvre, pont qui est en assez bon état.

La superficie des terrains sur lesquels on recueille les eaux de pluie ou de neige pour les conduire à Versailles est d'environ 15,000 hectares. Il tombe sur cette surface, année commune, $0^{m},50$ de hauteur d'eau, ce qui donnerait un produit annuel de 75,000,000 de mètres cubes, ou plus de 10,000 pouces, sans les pertes énormes causées par l'évaporation ou les filtrations ; pertes sur lesquelles on avait été loin de compter lorsque les travaux furent entrepris. Au lieu de 10,000, les pertes sont telles aujourd'hui, que ce produit se trouve réduit au-dessous de 200 pouces.

La position du jardin de Versailles permet de tirer le parti le plus avantageux de ces eaux. Les bassins sont placés à différentes hauteurs sur la surface inclinée qui descend depuis la terrasse du château jusqu'au canal, de manière qu'il est facile d'alimenter les pièces inférieures par les eaux que des pièces plus élevées ont déjà versées dans leurs propres bassins. Les grandes eaux jouent ordinairement pendant trois heures et demie ; le volume qui s'écoule dans cet intervalle de temps est de $9,465^{kilol.},67$ ou de $751^{lit.},25$ par seconde. La dépense qui aurait lieu en 24 heures serait de 64,907 kilolitres ou de 3,381 pouces. Mais il faut observer que cela ne suffirait pas encore pour que les eaux jaillissent à la fois de tous les points, puisqu'on ne fait jouer le bassin de Neptune, par lequel on termine, qu'en arrêtant tous les autres écoulements ; on ne pourrait leur consacrer moins de 10,000 pouces, ainsi qu'on l'avait d'abord pensé.

Pour les obtenir, Vauban et Lahire conçurent, en 1680, le projet d'amener les eaux de la rivière d'Eure à Versailles. La prise d'eau à Saint-Gouin était plus élevée de $35^{m},73$ que la cour de marbre du château, et sa distance était de 155,523 mètres environ. On devait traverser le vallon de Maintenon par un aqueduc à trois rangs d'arcades, dont la hauteur totale aurait été de 71 mètres.

Les travaux furent commencés en 1684, et interrompus quatre ans

Digitized by Google

plus tard, après y avoir dépensé 8,612,995 *livres*. Ils n'ont pas été repris, et il ne reste maintenant qu'une partie de l'aqueduc de Maintenon, pour rappeler ce projet, qui est une des plus grandes entreprises du règne de Louis XIV.

Dans le même temps, le célèbre mécanicien Rannequin établissait sur un des bras de la Seine la machine de Marly, qui élevait 300 pouces d'eau à la hauteur de 162 mètres; il la mit en état d'agir en 1682. Cette machine était plus remarquable par sa grandeur que par sa bonne composition; mais, à l'époque où elle fut construite, elle était regardée avec raison comme un chef-d'œuvre. Le produit a diminué successivement de 300 pouces à 28 pouces depuis l'année 1694 jusqu'à 1816 où elle a été entièrement démolie et remplacée par une machine à vapeur de la force de 64 chevaux, qui élève d'un seul jet 76 pouces d'eau, ou 1,500 mètres cubes par 24 heures, à la hauteur de 162 mètres, au moyen d'une conduite placée sur un plan incliné de 1,300 mètres de longueur.

Les derniers ouvrages remarquables construits pour amener des eaux sont, dans le royaume de Naples, l'aqueduc de Caserte, et, en France, l'aqueduc de Montpellier.

L'aqueduc de Caserte a été construit par ordre du roi de Naples Charles III, pour amener les eaux dans le château qu'il a fait bâtir à Caserte, ville située à cinq lieues au nord de Naples, dans la plaine où était autrefois Capoue. Il a plus de 9 lieues de longueur depuis les sources qui l'alimentent jusqu'aux jardins de Caserte, traverse des vallées profondes et de hautes montagnes. Le réservoir, qui se trouve près du château, est à 130 mètres au-dessus du niveau de la cour.

L'aqueduc de Montpellier fut établi en 1752, sous la direction de Pitot, ingénieur et membre de l'Académie des sciences. Il parcourt un espace de 13,904 mètres, depuis la source de Saint-Clément jusqu'au Peyrou. Il se termine, sur une longueur de 880 mètres, par deux rangs d'arcades ayant ensemble 28 mètres de hauteur, et par un château-d'eau en rotonde, décoré de colonnes, qui forme un des plus beaux monuments de la place

Digitized by Google

du Peyrou. Cette place est encore remarquable par sa position d'où l'œil embrasse un horizon immense et découvre la mer et les montagnes des Pyrénées, par la statue équestre de Louis XIV, autour de laquelle on avait eu l'heureuse idée de rassembler les grands hommes qui avaient illustré son règne; les groupes de Condé et de Turenne, de Colbert et de Duquesne, de Lamoignon et de d'Aguesseau, de Fénelon et de Bossuet.

A l'exemple des anciens, on n'employa pendant longtemps que des aqueducs pour la conduite des eaux; l'établissement des pompes de la Samaritaine, du pont Notre-Dame et de Marly, semblait même prouver que l'emploi des machines hydrauliques rendait la distribution des eaux peu sûre et peu régulière; mais aujourd'hui l'emploi des machines à vapeur doit servir à répandre l'eau avec autant d'abondance que d'économie.

Londres, Glascow, Édimbourg, Philadelphie, jouissent déjà d'un système complet de distribution d'eau; Paris n'aura plus bientôt à leur envier de si grands avantages, grâce au zèle actif et éclairé de M. de Chabrol, préfet du département de la Seine. Ce magistrat ne s'est pas contenté d'aller examiner lui-même sur les lieux le système adopté en Angleterre, et surtout à Londres, mais il en a fait faire une étude complète par M. Mallet, afin d'en faire jouir la capitale en l'adaptant à ses localités.

Les 4,000 pouces d'eau conduits par le canal de l'Ourcq seront consacrés à l'embellissement des places et des promenades, à l'arrosement des rues et au lavage des égouts. Leur distribution s'opérera d'après le projet de M. Girard, qui consiste à dériver d'un réservoir commun le volume d'eau que l'on destine à chaque fontaine, et à l'y porter par une conduite particulière.

2,000 pouces seront tirés de la Seine et élevés par des machines à vapeur. On appliquera à leur distribution le nouveau système de conduite.

Digitized by Google

Ce qui le distingue surtout, c'est la facilité qu'il offre aux particuliers d'avoir de l'eau à domicile.

Afin que les canaux et les travaux publics ne fussent pas endommagés, il était défendu à Rome de tirer l'eau obtenue par une concession d'autre part que du château-d'eau. Ce procédé, dont nous avons retrouvé la tradition dans toute l'Italie, a été longtemps employé en France. Il est aussi compliqué que dispendieux, à raison de la multitude de petits tuyaux sillonnant les rues qu'il nécessite ; et les frais qu'il cause aux abonnés éloignés en bornent à peu près l'utilité aux classes riches.

Dans le nouveau système, au contraire, un tuyau principal part de l'établissement des machines, et suit autant que possible la ligne-milieu de l'arrondissement à desservir ; sur ce tuyau sont branchées d'autres conduites secondaires qui parcourent les rues les plus populeuses et les plus importantes. Ces conduites sont accompagnées de tuyaux, dits de service, qui leur sont parallèles ou qui se dirigent vers les rues où il ne se trouve aucune autre conduite. Ils forment ainsi un réseau qui embrasse toutes les rues du quartier alimenté par les machines.

C'est sur ces tuyaux de service seulement que sont branchés ceux des particuliers, lesquels viennent aboutir à des réservoirs placés dans chaque maison d'habitation à différentes hauteurs, suivant les désirs des propriétaires.

Les avantages qui résultent de ces dispositions sont faciles à saisir, mais on ne pouvait les réaliser qu'en ayant des conduites qui offrissent une grande résistance à la pression de l'eau, et c'est ce qui a déterminé l'emploi de la fonte de fer.

Nous venons de tracer en quelque sorte l'histoire de l'art du fontainier par les monuments.

Elle peut suffire pour en faire sentir toute l'utilité, mais peut-être ne caractérise-t-elle pas assez ses progrès : il faut en considérer la partie scientifique pour l'apprécier à sa juste valeur et éviter que de fausses idées

Digitized by Google

de grandeur et de magnificence ne parviennent à égarer notre jugement et à nous faire croire qu'il a retiré peu d'avantages des nouvelles découvertes.

Il y a dans tous les arts un point de perfection à se proposer, et qu'on ne peut atteindre que par une application plus ou moins parfaite des résultats de la théorie. Or, l'art du fontainier se fonde sur des principes de mécanique et de physique qui étaient, pour ainsi dire, inconnus aux anciens. On ne doit donc pas être étonné si nous devons l'emporter de beaucoup sur eux.

Les Romains n'employaient qu'une pratique simple du nivellement dans le tracé de leurs aqueducs, et il leur eût été impossible d'analyser et d'expliquer les phénomènes de l'écoulement de l'eau; ce n'est que depuis peu de temps que l'hydraulique appliquée est devenue une branche des sciences physico-mathématiques. Galilée et ses disciples en posèrent les premiers fondements.

Galilée découvrit la pesanteur de l'air, Toricelli confirma ses observations par de nouvelles expériences, et prouva que cette force était la cause de l'ascension de l'eau dans les pompes, qu'elle élevait l'eau, dans les tuyaux inclinés, à la même hauteur perpendiculaire que dans les tuyaux droits; que le mercure ne montait qu'à 28 pouces, hauteur proportionnelle au rapport des pesanteurs des deux fluides : il inventa le baromètre (an 1643). La science hydrostatique fut aussi ressuscitée par ces savants italiens. Archimède, qui le premier des anciens traita de la théorie des fluides, n'avait considéré que l'équilibre des solides plongés dans les fluides. Il avait déterminé le poids des corps posés dans un fluide plus léger, le degré d'enfoncement où ils restaient en équilibre dans un fluide plus pesant, la force avec laquelle ils tendaient à s'élever lorsqu'on les avait forcés de s'y plonger tout entiers, et la position qu'ils y prenaient relativement à leur figure; il restait à établir la théorie de l'équilibre des fluides eux-mêmes. Stevin, mathématicien flamand, paraît avoir prouvé le premier, par l'expérience et la théorie, que les fluides pèsent dans la direction de la

Digitized by Google

pesanteur, en raison de leur base et de leur hauteur, et qu'ainsi le cylindre et le cône fluide, qui ont une base et une hauteur égales, pèsent également sur cette base.

Pascal démontra la même vérité en se fondant sur le principe de l'égalité de pression ; principe qui, après la découverte d'une géométrie nouvelle, devait fournir le moyen d'établir les lois générales du mouvement des fluides. On ne connaissait alors que celles qui s'appliquent à l'écoulement par un orifice percé dans un vase à mince paroi. Torricelli avait, en effet, trouvé que lorsque l'eau s'écoule par une ouverture pratiquée dans un vase, elle acquiert une vitesse égale à celle qu'aurait un corps abandonné à la pesanteur et tombant depuis la surface du liquide jusqu'à l'orifice (an 1643).

Mariotte voulut appliquer la théorie des eaux sur des expériences auxquelles il pût appliquer tout ce que la géométrie de son temps lui fournissait de secours. Après avoir posé les principes de l'hydrostatique, il chercha les lois du mouvement des fluides. Il confirma d'abord la règle de Torricelli, en remarquant toutefois que le produit réel diffère toujours un peu de celui dû à la théorie, et que la règle ne se vérifie que lorsqu'il existe un autre rapport entre la surface de l'ouverture et les dimensions du réservoir. Ces deux causes de perturbation, qui n'étaient pas alors connues, tiennent à la contraction de la veine fluide, qui se manifeste lorsque l'eau s'écoule par une ouverture faite à un vase de peu d'épaisseur, et à ce que les molécules fluides d'une même tranche horizontale ne conservent la même vitesse que lorsque la surface de l'orifice est très-petite par rapport à celle des tranches successives.

Mariotte a fait également des expériences sur la hauteur des jets, lorsque l'eau s'échappe par un ajutage d'un petit diamètre et de peu de longueur adapté à un réservoir constamment plein. Il a trouvé que le jet ne s'élève pas à la hauteur du niveau du réservoir, ainsi que l'annonce la théorie, et il donne une règle pour calculer la perte pour un jet quelconque, lorsqu'on en connaît la valeur dans un cas particulier.

Digitized by Google

Son ouvrage renferme une foule d'autres expériences, tant sur le mouvement des eaux que sur d'autres matières ; et, s'il n'y en a aucune qui n'ait été plus approfondie dans d'autres ouvrages, il ne serait pas juste de laisser le sien dans l'oubli. On lui doit d'avoir fait sentir la nécessité de modifier la théorie par l'expérience, et de corriger les formules fondées sur des hypothèses qui, ou s'éloignent un peu de la nature, ou n'embrassent pas toutes les circonstances physiques qui se compliquent dans ses opérations.

Mariotte éclaira la marche à suivre dans l'étude de l'hydrodynamique, mais il ne fit pas faire de grands progrès à cette science. Elle se réduisait encore à jauger les eaux qui s'échappent d'un réservoir par un orifice infiniment petit ou par un tuyau additionnel de peu de longueur, et à mesurer la vitesse de celles qui coulent dans un lit de rivière, en se servant d'une boule de cire qu'on laissait flotter à la surface. On n'avait pas encore établi de relation entre cette vitesse et les quantités relatives à l'inclinaison, à la forme et aux dimensions du canal ; cependant on commençait à mieux apprécier l'influence de ces divers éléments. Les méthodes de nivellement se perfectionnaient par la découverte de la pesanteur et la connaissance de la figure de la terre ; on inventait des instruments plus précis pour reconnaître les différences de hauteurs entre des points séparés par de grandes distances et des accidents de terrain. Picard, Lahire, Vauban, Riquet, en firent d'heureuses applications au tracé des grands travaux hydrauliques.

Colbert contribua surtout au progrès des sciences en étendant la protection de Louis XIV sur des hommes qui ne dédaignaient pas de faire les plans, les nivellements, de se livrer à des occupations pénibles pour assurer le succès des opérations qui leur étaient confiées : il fonda l'Académie des sciences (an 1666).

Les efforts des savants qui, dans ce corps, s'occupaient de l'hydraulique, ne servirent encore pendant longtemps qu'à faire mieux connaître les phénomènes du mouvement des fluides qu'il s'agissait d'expliquer,

Digitized by Google

les questions qu'il fallait résoudre, surtout les difficultés qu'elles présentaient.

Guglielmini publia, dès l'année 1690, son traité d'hydrostatique intitulé *Aquarum fluentium mensura novâ methodo inquisita,* qui n'offre guère aujourd'hui qu'un intérêt historique, en faisant voir par les hypothèses erronées qu'adopte l'auteur, combien étaient peu avancés la science des eaux courantes et l'art très-difficile d'appliquer le calcul aux questions physico-mathématiques.

Couplet fit des expériences très-intéressantes sur le mouvement de l'eau dans les conduites de Versailles (an 1732), sur les résistances que l'air offrait lorsqu'il se logeait dans les parties élevées des coudes, et sur la nécessité d'y placer des ventouses.

De Parcieux fit sentir l'importance de cette remarque (an 1750), et prouva qu'on ne pouvait pas suppléer aux ventouses par une augmentation de charge sur l'orifice de la conduite, ainsi qu'on l'avait pratiqué, en 1734, à la cuvette de la pompe du pont Notre-Dame, qu'on haussa de 3 pieds 1/2, parce que l'eau n'arrivait pas à la fontaine Saint-Séverin avec la vitesse qui *aurait dû être produite par la charge d'eau qui résultait de la différence* de niveau entre le point de départ et celui d'arrivée.

Mais Daniel Bernouilli, associé étranger de l'Académie, eut la gloire de donner le premier la théorie de ce mouvement, d'une manière générale et d'après des principes sinon rigoureux, du moins fondés sur des hypothèses qui paraissaient devoir peu s'écarter de la vérité.

L'un de ces principes est celui de la conservation des forces vives; l'autre est celui du parallélisme des tranches. Le premier souffre des exceptions, et particulièrement dans le cas où la loi de continuité cesse de régner dans les phénomènes; il n'a pas lieu quand les corps se meuvent dans un milieu résistant, ou quand ils éprouvent un frottement contre des obstacles fixes : c'est ce qui détermina sans doute Bernouilli à diviser le fluide qui se meut en tranches parallèles, et à supposer toutes les

Digitized by Google

particules de chaque tranche animées d'un mouvement commun, ayant pour toutes la même vitesse et la même direction. Mais l'expérience et le raisonnement prouvent qu'il y a vers la partie inférieure de la masse fluide une convergence très-sensible de direction vers l'orifice par lequel l'eau s'écoule : il faut donc, pour que les phénomènes réels du mouvement ne diffèrent pas sensiblement de ceux sur lesquels la formule d'écoulement est établie, qu'il y ait sur l'orifice une charge d'eau considérable, et que le vase s'écarte peu de la forme cylindrique.

D'Alembert donna, en 1744, une autre solution du problème de l'écoulement des fluides, en y appliquant le nouveau principe qu'il avait découvert, et qui réduisait à la considération de l'équilibre toutes les lois du mouvement. Ce principe consiste à établir l'équilibre entre les quantités de mouvement perdues ou gagnées à chaque instant par les corps qui composent le système que l'on considère, ce qui revient à dire qu'il y a équilibre entre les quantités de mouvement qui seraient imprimées aux corps, s'ils étaient libres et soumis uniquement à l'action des forces qui leur sont immédiatement appliquées, et les quantités de mouvement qui ont effectivement lieu en vertu de la liaison des corps, chacune de ces dernières étant prise en sens contraire de sa direction. Mais les formules générales auxquelles il parvient ne pourraient être d'aucune utilité, par l'impossibilité de les résoudre. Ce n'est qu'en restreignant l'étendue de la question par des hypothèses plus ou moins admissibles que l'on a pu en déduire quelques résultats utiles dans la pratique et conformes à l'expérience. Celle du parallélisme des tranches est la plus généralement adoptée, et elle suffit lorsqu'on considère le mouvement de l'eau qui s'échappe par un orifice infiniment petit, percé dans la paroi d'un vase dont la forme et les dimensions sont telles que l'hypothèse puisse se réaliser.

Jusqu'alors on n'avait pas tenu compte de la cohésion des molécules entre elles et de la résistance qu'elles éprouvent de la part des parois du lit qui les contient. Ce n'est cependant qu'à ces forces retardatrices que l'on

Digitized by Google

peut attribuer l'uniformité du mouvement que l'on observe dans la nature, et qui s'établit dans un canal ou tuyau dont la pente et la section restent les mêmes; les expériences de l'abbé Bossut avaient fait sentir la nécessité d'y avoir égard, et c'est de là que devait dépendre désormais l'exactitude des calculs de l'hydraulique appliquée.

Chezi fut le premier qui introduisit l'expression de ces forces dans les formules du mouvement (an 1775), et il les considéra comme proportionnelles à la longueur de la portion du lit dans laquelle on considère le mouvement, au périmètre de la section et au carré de la vitesse. On a reconnu depuis que cette fonction de la vitesse ne représentait pas tous les phénomènes.

Dubuat fut conduit, d'après ses expériences (an 1779), à des résultats plus satisfaisants; mais sa formule, plus compliquée, n'était susceptible de s'appliquer qu'aux vitesses qu'il avait observées.

Il était réservé à Coulomb de prouver par le raisonnement et par le fait que, dans les mouvements très-lents, on satisfaisait aux phénomènes, en égalant la résistance à une fonction entière et rationnelle de la vitesse, composée de deux termes seulement, dont l'un est proportionnel à la première, et l'autre à la deuxième puissance de la vitesse (an 1800).

M. Girard appliqua cette idée à l'équation du mouvement pour un courant d'eau (an 1803). Mais il restreignit l'usage de la formule, en supposant que le coefficient était le même pour les deux puissances de la vitesse.

M. de Prony, reprenant la question à son origine, publia, en 1804, des Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes, où l'on trouve un exposé complet des formules analytiques qui renferment la solution générale du problème, une discussion approfondie de toutes les expériences de Bossut, Couplet et Dubuat, et une application heureuse des méthodes d'interpolation de M. de La Place à la détermination des valeurs numériques des coefficients qu'on fait entrer

Digitized by Google

dans les équations pour leur faire représenter la mesure exacte des effets physiques.

La question paraissait épuisée, et l'on se servait avec une juste confiance des formules de M. de Prony pour résoudre toutes les questions pratiques relatives au mouvement des eaux courantes.

Cependant M. Bélanger, dans un Mémoire récemment imprimé (en 1828), a prouvé que l'on pouvait faire avec succès de nouvelles recherches sur ce sujet intéressant.

M. de Prony n'avait donné que la solution numérique du problème relatif au mouvement uniforme des eaux courantes; M. Bélanger a trouvé celle qui s'applique au mouvement simplement permanent.

Ce mouvement a pour seule condition que le courant est décomposable en filets fluides, invariables de formes et de position, dépensant un volume d'eau constant pendant l'unité de temps, mais dont la section, et par conséquent la vitesse, peuvent être variables d'un point à un autre d'un même filet; tandis que dans le mouvement uniforme la vitesse et la section de chaque filet en particulier est constante.

Les derniers travaux entrepris pour la distribution de l'eau dans les villes ont également fait sentir la nécessité de ne plus se borner à étudier le phénomène de l'écoulement dans un tuyau droit, qui reçoit l'eau d'un bassin supérieur et la transmet dans un bassin inférieur. Si cette eau doit être portée sur un grand nombre de points, et par un système de conduites qui s'embranchent les unes sur les autres, la question se complique, et d'autres formules deviennent indispensables pour la résoudre.

M. Bélanger m'ayant indiqué une manière de mettre le problème en équation, en supposant que la pression, à l'origine de chaque branchement, est la même pour le tuyau principal et pour le tuyau secondaire, nous avons entrepris ensemble une suite d'expériences pour apprécier l'erreur dans laquelle cette hypothèse pouvait nous entraîner, et pour corriger les résultats donnés par la théorie.

Digitized by Google

Quelque incomplet que soit encore ce travail, j'ai cru devoir le publier, afin de donner une méthode suffisamment approchée pour déterminer les diamètres d'un système de conduites, et faire éviter des tâtonnements qui le plus souvent entraînent dans des dépenses considérables et inutiles.

Une considération plus puissante m'a encore déterminé, c'est celle de réveiller l'attention de MM. les ingénieurs sur cet objet important, dans un moment où l'on exécute partout des travaux hydrauliques qui peuvent fournir l'occasion d'entreprendre de nouvelles recherches.

J'y ai joint quelques observations sur la construction des canaux et des aqueducs, le jeu des pompes et des machines à vapeur, persuadé qu'en rassemblant ainsi et reproduisant les leçons éparses des savants et des praticiens, on pourrait retirer de ce travail une plus grande utilité.

Digitized by Google

ESSAI

SUR LES MOYENS DE CONDUIRE, D'ÉLEVER

ET DE

DISTRIBUER LES EAUX

EXTRAIT.

DE L'ÉTABLISSEMENT DES CANAUX DE DÉRIVATION.

1. Les différents éléments que nous avons à considérer dans l'établissement d'un canal sont la forme du lit, ou le profil en travers, le volume d'eau à dépenser, la hauteur qui correspond au régime uniforme, la vitesse et la pente. Ces éléments sont liés entre eux; mais, outre les considérations analytiques qui influent sur leur détermination, il en est d'autres, comprises dans le domaine de la physique, sur lesquelles il est essentiel de fixer notre attention.

2. La section du lit présente ordinairement la forme d'un trapèze. Le profil en travers du fond est horizontal et le talus des côtés est de un et demi à deux de base pour un de hauteur, suivant la nature plus ou moins résistante du sol. La largeur du fond dépend du volume d'eau à dépenser et de la profondeur du courant. Le volume d'eau étant connu, ainsi que la vitesse, plus la profondeur sera considérable, moins la surface supérieure du liquide sera grande; moins aussi, par conséquent, l'évaporation sera forte, et plus les digues devront être épaisses pour résister à la poussée de l'eau et s'opposer aux filtrations. On ne peut guère donner moins de 1 mètre de largeur au fond et moins de 50 centimètres de profondeur.

3. Le volume d'eau qu'on se propose de faire passer par le canal est toujours connu; si la source excède les besoins, il suffit d'augmenter le volume qu'ils exigent des pertes dues à l'évaporation naturelle et aux fil-

Digitized by Google

trations à travers les terres qui forment le lit du canal. Ces pertes sont d'autant plus importantes, que l'eau est la richesse même qu'on a pour objet d'exploiter. L'évaporation est un phénomène contre lequel l'art n'a presque aucune prise; ainsi la dépense due à cette cause est inévitable. M. Halley a trouvé, par plusieurs expériences, qu'il s'évaporait moyennement $2^{mm},7$ de hauteur sur une surface exposée à l'air en été, pendant une heure, et qu'en général, la quantité d'eau qui s'évapore dans une année est à celle fournie par la pluie dans le rapport de 5 à 3.

Cette quantité de pluie varie pour les différents pays. C'est ainsi qu'on a remarqué qu'il tombait plus de pluie dans le Midi qu'au Nord, dans les pays élevés que dans les lieux bas, dans les pays de montagnes que dans les plaines. Il résulte d'un grand nombre d'expériences faites par des physiciens, qu'on doit évaluer à *sept dixièmes* de mètre cube la quantité d'eau qui tombe annuellement sur un mètre de superficie du territoire français.

Voici le résumé de ces expériences :

				mètres.
Lille	27 pouces	» lig.		0,73
Metz	24	8	$\frac{70}{100}$	0,6
Eure	18	4		0,50
Paris	19	6	$\frac{94}{100}$	0,53
Haut-Rhin { Plaines	28	1		0,75
Haut-Rhin { Montagnes	30	»		0,81
Orne	20	4		0,55
Ille-et-Vilaine	21	»		0,57
Haute-Vienne	25	»		0,68
Lyon	29	2	$\frac{30}{100}$	0,79
Isère	32	»		0,87
Montpellier	28	6		0,77
				8,23
$\frac{1}{12}$				0,69

Le nombre moyen des jours pluvieux, abstraction faite des circonstances locales qui ont une grande influence, est de 105 entre le 43e et le 46e degré de latitude; il est de 134 à la latitude de Paris. Dans cette capitale et à Montmorency, l'évaporation moyenne annuelle a été trouvée par Sédileau et Cotte, de 32 pouces 1 ligne ($0^{m},868$), et 38 pouces 4 lignes ($1^{m},038$).

Digitized by Google

Dans la France méridionale, MM. Clausade et Pin ont reconnu qu'en défalquant l'effet des filtrations, les eaux du canal de Languedoc et le bassin de Saint-Ferréol perdent par an de 336 à 360 lignes.

La deuxième cause de dépense est celle qui a lieu par les filtrations. Si le canal doit être ouvert dans une terre franche ou dans un sable fin et profond, les pertes d'eau sont peu considérables et elles diminuent ordinairement de jour en jour. Mais lorsqu'on rencontre le gros sable et le gravier, des terres remplies de pierrailles, des rochers couverts par une couche peu épaisse de terre végétale et pleins de fissures, etc., on est obligé de former des revêtements intérieurs en terre franche, ou mieux encore en argile mélangée de sable, en donnant plus d'étendue aux déblais; quelquefois on place des corrois en terre glaise dans l'épaisseur des digues, et si ces différents moyens ne réussissent pas, on construit le canal avec murs de soutènement et radier général en maçonnerie de moellon, dans laquelle toute la paroi intérieure mouillée par l'eau, et sur 30 centimètres d'épaisseur seulement, serait faite en mortier de chaux hydraulique. On voit d'après cela qu'on peut toujours diminuer, si ce n'est détruire entièrement, les pertes d'eau dues aux filtrations. Il sera donc indispensable d'y avoir égard dans le calcul du volume d'eau à dépenser.

4. Ce volume une fois déterminé, le second élément de calcul à considérer est la vitesse qu'il convient d'assigner au courant.

Moins la vitesse est grande, plus l'eau met de temps à parcourir un espace donné, et plus il y a de pertes produites par les filtrations et l'évaporation. Au contraire, quand la vitesse est considérable, l'eau choque tous les obstacles qu'elle rencontre avec une plus grande quantité de mouvement; aussi ronge-t-elle alors plus aisément les bords, et produit-elle dans le fond du canal des affouillements plus ou moins considérables, suivant la nature plus ou moins résistante du sol. Dans ce cas, on est obligé de réparer souvent le canal, d'arrêter les eaux, et par conséquent d'en suspendre l'effet utile.

On voit qu'entre les vitesses extrêmes, il est un terme moyen, le plus avantageux possible, qui dépend beaucoup de la nature des terrains que doit traverser le canal et de la masse des eaux qui l'alimentent.

Si le canal doit porter des eaux salubres, il faut de plus que la vitesse soit assez grande pour qu'elles n'acquièrent pas de qualités malsaines par leur stagnation dans les bassins et la lenteur de leur renouvellement.

Digitized by Google

Les eaux pluviales et toutes celles qui sont courantes contiennent une certaine quantité d'oxygène qui se renouvelle par le contact de l'air; mais si ces eaux viennent à être renfermées, si elles séjournent dans des bassins où elles ne se renouvellent que lentement, il arrive qu'au bout d'un certain temps la quantité d'oxygène diminue. Les matières animales et végétales que les eaux tiennent en dissolution se décomposent; alors elles sont fades et insalubres. C'est dans l'été, lorsque les eaux coulent avec peine sur un lit fangeux et tapissé d'herbes marécageuses, que cette cause produit son plus grand effet. On a trouvé qu'une vitesse de 35 centimètres par seconde était indispensable pour entretenir la salubrité des eaux. Toutes les fois que cette vitesse existe, la fermentation ne peut pas s'établir, et les eaux n'ont pas besoin d'être purifiées par le charbon, qui jouit de la propriété particulière d'absorber les gaz délétères.

5. Lorsque le volume et la vitesse sont déterminés, ainsi que la figure transversale du lit, on en conclut la pente au moyen de la formule du mouvement uniforme.

6. Le canal de l'Ourcq devant servir à l'établissement d'une nouvelle navigation entre la partie supérieure de la rivière d'Ourcq et la ville de Paris, et former en même temps un aqueduc qui pût conduire des eaux salubres dans cette capitale, on dut régler sa pente, son profil et la vitesse des eaux, de manière à ce que ces deux conditions fussent remplies.

Le canal de l'Ourcq, considéré comme navigable, devait avoir une section transversale et une profondeur d'eau qui permissent la navigation de bateaux proportionnés à ceux employés déjà sur les canaux avec lesquels il devait communiquer. Mais, considéré comme aqueduc, la pente ne pouvait pas être distribuée en différents ressauts rachetés par des écluses à sas; il fallait obtenir un écoulement continu et une vitesse telle cependant que les bateaux pussent naviguer facilement à la remonte.

Cette vitesse moyenne, pour assurer la salubrité des eaux, devait être au moins de 35 centimètres par seconde, ou de 43 centimètres environ à la surface.

La pente est réglée à $0^{m},0001$;

La largeur du canal à $3^{m},50$ au niveau du plafond avec des talus de un et demi de base sur un de hauteur (pl. I, fig. 2);

Le volume d'eau à dépenser était d'ailleurs de $259,136^{\text{kilolitres}},55$ en vingt-quatre heures, ce qui revient à $2^{\text{m.c.}},999$ par seconde.

Digitized by Google

D'après ces données, on a :

$$x = 3,5 + 3h,$$
$$\chi = 3,5 + h\sqrt{13},$$
$$\omega = \frac{h}{2}(7 + 3h),$$
$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{2,999}{\frac{h}{2}(7+3h)},$$
$$i = 0,0001.$$

Si l'on substitue pour χ, ω et v leurs valeurs en h dans l'équation du mouvement uniforme, on trouvera, après un petit nombre de tâtonnements, que cette équation est satisfaite approximativement par $h = 1^m,50$; c'est-à-dire que la hauteur du régime uniforme est de $1^m,50$: ce qui donne pour la vitesse $0^m,3477$.

On voit que cette vitesse est faible, et qu'il faudrait adopter une pente un peu plus forte.

7. On avait proposé, dans l'origine, de distribuer la pente, non pas uniformément, mais suivant la loi représentée par le rapport des coordonnées de la courbe funiculaire. D'après ces principes, une partie du canal est creusée sur une pente de $0^m,0000625$ par mètre, et l'autre sur une pente de $0^m,0001236$; il s'ensuit que, dans la réalité, la vitesse est encore moindre, et que les eaux doivent perdre de leur qualité, surtout en été, où la diminution du volume augmente encore les causes d'insalubrité. On ne doit compter, d'après l'expérience de plusieurs années, que sur $1^{m.c.},555$ par seconde, au lieu de $2^{m.c.},999$, qui ont servi de base à la détermination des dimensions du canal.

8. La pente est quelquefois déterminée par les localités, lorsqu'il s'agit, par exemple, de conduire les eaux d'une *source* sur le point culminant d'une ville; quelquefois on peut l'augmenter ou la diminuer dans de certaines limites, lorsqu'il s'agit de dériver simplement les eaux d'une rivière, et que l'emplacement de la prise d'eau n'est pas fixé d'avance. Nous venons de voir que le *minimum* qu'on peut lui donner doit correspondre à une vitesse de $0^m,32$ à $0^m,35$ par seconde; ainsi, par exemple, la pente doit être d'environ 1 décimètre par kilomètre lorsque le rayon moyen du courant est de 50 centimètres.

9. Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce qui concerne la con-

Digitized by Google

struction des canaux. Ce n'est que dans les ouvrages où l'on traite spécialement de cet objet que l'on peut entrer dans tous les détails que de semblables projets exigent [1].

Le nivellement et le tracé d'un canal étant arrêtés, on le creuse en commençant par l'endroit où il doit aboutir, et en remontant successivement jusqu'au point de partage ou de la prise d'eau.

Suivant les qualités du terrain que le canal traverse, on emploie les différents moyens que l'art suggère et que nous avons indiqués ci-dessus, pour s'opposer aux filtrations.

On rencontre quelquefois des ruisseaux, des sources dont il peut convenir de ne pas recevoir les eaux dans le canal. Alors on établit des aqueducs, suivant que le local l'exige, pour en éviter la rencontre.

Enfin, on peut être forcé de franchir un ravin profond, une rivière considérable : on construit dans ce cas le canal en maçonnerie, et on le supporte par un pont à un ou plusieurs rangs d'arcades, suivant la hauteur à laquelle il faut l'élever pour conserver sa pente.

DE L'ÉTABLISSEMENT DES AQUEDUCS.

10. Les aqueducs en maçonnerie doivent être préférés toutes les fois que le volume d'eau dont on peut disposer est peu considérable.

11. Quoique leur pente doive être réglée de manière à donner à l'eau une vitesse déterminée, le tracé diffère essentiellement de celui d'un canal. L'eau étant renfermée dans une cunette en maçonnerie, on peut plus facilement s'enfoncer dans la terre, percer une montagne, tailler les rochers, s'élever au-dessus du sol dans les vallées profondes, en le soutenant sur un mur ou sur un pont formé d'un ou de plusieurs rangs d'arcades.

12. Ainsi les aqueducs sont *souterrains* ou *apparents*.

Les premiers se composent ordinairement d'une simple cunette en maçonnerie, formée par un radier, deux murs latéraux ou pieds-droits, et une couverture en plate-bande ou cintrée (pl. I, fig. 3, 4, 5).

Les seconds se composent également d'une cunette en maçonnerie, mais elle est soutenue, pour conserver la pente, sur un massif en maçon-

[1] Voyez le *Devis général du canal de l'Ourcq*, par P.-S. Girard ; Paris, 1806 ; les *Mémoires sur les canaux de navigation*, par M. Gauthey ; Paris, 1816, etc.

Digitized by Google

nerie, lorsque l'élévation au-dessus du sol n'est que de deux à trois mètres, et sur un ou plusieurs rangs d'arcades, lorsque l'élévation augmente.

13. La cunette se construit toujours en maçonnerie de moellons [1], posés à bains de mortier, de manière à ce qu'il ne se trouve absolument aucun vide entre les pierres. On emploie des moellons esmillés à l'extérieur; mais dans l'intérieur, on choisit de petits moellons, et l'on n'épargne pas le mortier, afin de former une masse absolument imperméable dans laquelle il ne puisse se faire aucune filtration (pl. I, fig. 6).

14. La partie du parement intérieur qui doit être mouillée se recouvre d'une première couche de ciment de 5 centimètres d'épaisseur, composé de chaux, de sable fin, et de briques presque pulvérisées. Quelquefois on augmente l'épaisseur de la couche sur le fond, qui est creusé en arc de cercle, et on lui donne de 8 à 16 centimètres. Cette première couche de ciment ou crépi est ensuite recouverte d'une seconde couche d'un enduit très-fin, d'un millimètre d'épaisseur.

15. Dans les parties apparentes, les murs, les pieds-droits et les arcades peuvent être construits en pierres de taille ou en moellons, suivant l'importance du monument.

16. Nous ne donnerons pas les dimensions des différentes parties des ouvrages qui entrent dans la composition d'un aqueduc, parce qu'elles dépendent de la nature du terrain sur lequel il doit être établi, des résistances qu'elles ont à opposer suivant qu'elles sont plus ou moins enfoncées dans terre ou élevées au-dessus du sol, que l'ouverture des arcades est plus grande, et que le volume d'eau à porter est plus considérable.

Nous dirons seulement que dans les aqueducs souterrains, lorsque le fond est bon, et qu'il n'y a pas plus d'un mètre d'épaisseur de terre sur la voûte, on donne au radier $0^m,325$ d'épaisseur, non compris la couche en béton, qui a toujours de 8 à 16 centimètres, aux murs latéraux de $0^m,50$ à $0^m,65$, et $0^m,325$ à la clef de la voûte.

La grandeur dans œuvre dépend évidemment du volume d'eau à porter et de la pente, mais on ne donne guère jamais moins de 1 mètre de largeur sur 2 mètres de hauteur, pour permettre de les visiter sur toute leur longueur.

[1] Les prescriptions de M. Genieys nous paraissent beaucoup trop absolues. Tout système qui donne une cunette étanche est bon; c'est à l'ingénieur à choisir celui qui convient le mieux, suivant les ressources dont il dispose et suivant les circonstances locales. J. D.

Digitized by Google

Dans les aqueducs apparents, le massif en maçonnerie qui porte la cunette a une épaisseur qui dépend de celle de la cunette. Dans l'hypothèse que nous avons adoptée, où le vide intérieur serait de 1 mètre, l'épaisseur pourrait être de 2 mètres lorsque l'élévation au-dessus du sol ne serait que de 2 mètres à $2^m,50$. Si elle augmente, on emploie alors un ou plusieurs rangs d'arcades, et c'est de l'élévation totale que dépend la longueur des piles, parce qu'on forme des retraites à la naissance de chaque rang (pl. II).

17. Lorsque le vallon qu'il faut traverser a une grande profondeur, et que le nombre de rangs d'arcades nécessaires pour conserver la pente devient trop considérable [1], on peut remplacer ces constructions par des tuyaux en fonte ou en plomb, pourvu qu'ils offrent une résistance proportionnée à la pression de l'eau. On leur fait dessiner le contour de la vallée en les soutenant, sur les côtés, par des arcs rampants, et au milieu par un pont ordinaire, qui porte alors le nom de *pont à siphon*. On place sur les deux hauteurs, aux extrémités, des réservoirs : l'eau descend de l'un pour remonter dans l'autre à un niveau qui dépend de la perte de charge due aux frottements et à l'accélération de la vitesse de l'eau dans la conduite, suivant que l'ouverture des tuyaux diffère plus ou moins de la section vive du courant dans l'aqueduc.

Il existe à Gênes un pont à siphon, dit *delle Arcate*, qui traverse la vallée du torrent *Geivato*, portant les eaux de la colline de Molassana à celle de Pino (pl. III).

L'embouchure du siphon est plus élevée que la sortie de $7^m,43$, et la distance horizontale de ces deux points est de $668^m,65$.

La partie inférieure du siphon se trouve au-dessous de son embouchure de $50^m,02$, et de sa sortie de $42^m,49$.

La conduite suit la courbure du pont, sur lequel elle est couchée, et se compose de tuyaux en fonte, dont la longueur varie depuis $0^m,87$ jusqu'à $0^m,75$, y compris $0^m,065$ d'emboîtement. Le diamètre est de $0^m,37$, et l'épaisseur de la paroi de $0^m,02$.

On a eu soin de placer dans la partie inférieure deux tuyaux à tubulure, destinés à décharger les eaux dans le cas qu'on dût mettre le siphon à sec ;

[1] En ce qui concerne les ponts-aqueducs, les ponts à siphon et les souterazzi, nous ne partageons nullement l'opinion de M. Genieys, et nous ne pouvons que renvoyer au chapitre X de la première partie. J. D.

Digitized by Google

et dans la partie supérieure, près de l'embouchure, deux tuyaux de même forme, pour faciliter l'introduction de l'eau, en donnant une issue à l'air.

L'eau, avant de s'introduire dans le siphon, est versée, par l'aqueduc qui précède, dans un bassin, qui a à son milieu une grille en fer, destinée à retenir les rameaux, feuillages et autres matières qui pourraient obstruer le siphon.

Ce bassin a un reversoir placé à 1 mètre au-dessus du centre de l'embouchure du siphon, de manière que lorsque l'eau est le plus abondante, la charge totale en vertu de laquelle s'opère le mouvement peut être de $8^{m},43$.

Dans ce cas, la dépense d'eau est de $696^{m.c.},16$ par heure.

L'aqueduc de Gênes a 28,260 mètres de longueur. On ne lui avait d'abord donné, en 1293, que 7,786 mètres de développement; mais on l'a successivement augmenté depuis, pour recueillir de nouvelles sources. La construction du pont à siphon date de 1782.

18. Si la longueur de la vallée est très-grande, on peut former plusieurs conduites en siphon, en élevant des massifs en maçonnerie ou pilastres pour soutenir autant de cuvettes placées à des hauteurs différentes, eu égard à la perte de charge nécessaire pour vaincre les frottements dans les tuyaux. L'eau descend du réservoir qui termine la première partie de l'aqueduc sur le revers du coteau et remonte par une conduite verticale dans la première cuvette; elle redescend ensuite et remonte dans la deuxième, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'elle soit parvenue dans le réservoir placé sur le revers opposé du coteau et formant l'origine de la seconde partie de l'aqueduc. On place des ouvertures au sommet des piles, afin de donner une issue à l'air, qui, sans cela, pourrait gêner le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite, ainsi que nous le verrons plus particulièrement lorsque nous parlerons de ce mode d'écoulement.

C'est sur ce principe que sont construits les souterazi près de Constantinople, ainsi que l'a observé le général Andréossy [1].

19. On peut employer un moyen semblable pour traverser une rivière, un torrent, sur lesquels la construction d'un pont serait difficile ou trop dispendieuse. La conduite se compose alors de tuyaux en plomb ou de

[1] Voyez son ouvrage sur le Bosphore.

Digitized by Google

tuyaux en fonte liés par des articulations ou *genoux* qui leur permettent de prendre un mouvement dans le sens vertical, et de s'appliquer entièrement sur le fond du lit.

20. On a retrouvé dans le fond du Rhône une conduite en plomb, posée du temps des Romains, qui traversait ce fleuve depuis la ville d'Arles vers Trinquetaille, sur une largeur de 90 toises et à une profondeur de 6 à 7 toises. Cette conduite était composée de tuyaux de plomb de 5 à 6 pouces de diamètre, et de 4 lignes environ d'épaisseur, soudés tout au long au moyen d'une lame de plomb de pareille épaisseur, et réunis par des ajutages de pareille matière, de toise en toise, formant un bourrelet. Cette conduite n'avait pas besoin de genoux, vu la flexibilité de la matière employée[1].

21. Nous venons de voir comment on pourrait faire traverser une vallée par une conduite d'eau sans construire un aqueduc, mais il n'est pas moins important quelquefois de lui faire franchir une colline sans être obligé de la contourner ou de la percer. Il est un cas où l'on peut produire l'écoulement de l'eau avec un siphon; c'est lorsque la colline n'a pas 32 pieds au-dessus du niveau de l'eau dans la vallée où se trouve la source alimentaire ou le réservoir. Concevons un tuyau qui, plongeant dans l'eau de la vallée, s'élève en rampant jusqu'au sommet de la colline, et redescende sur la pente opposée. Pour amorcer ce siphon, on ferme ses deux extrémités, et, au lieu de faire le vide, on le remplit d'eau par une ouverture pratiquée dans la partie supérieure. On ferme cette ouverture; on débouche ensuite les deux extrémités, et l'écoulement s'établit jusqu'à ce que l'eau de la vallée soit épuisée, ou que la plus courte branche du siphon ne plonge plus dans l'eau, ou enfin que le niveau se soit abaissé de plus de 10 mètres au-dessous du sommet de la colline.

Il y a une attention à avoir lorsqu'on emploie un siphon d'un diamètre un peu grand, c'est que l'air peut s'introduire dans l'une des colonnes, filer le long des parois, et parvenir dans la partie supérieure où il opère une solution de continuité, et par suite fait cesser l'écoulement. Pour éviter cet inconvénient, il faut tenir l'extrémité de la branche par laquelle s'écoule le liquide, plongée dans le bassin de distribution, au-dessous du niveau de l'eau, et placer au sommet une ventouse ou reversoir d'air que nous décrirons plus tard.

[1] *Traité de la construction des chemins*, par Gauthey, page 125. Paris.

Digitized by Google

22. Les aqueducs apparents ont quelquefois une largeur assez considérable pour permettre aux voitures d'en parcourir la longueur sur une chaussée publique qu'on ménage sur l'édifice à la hauteur convenable. Tel est l'aqueduc construit dans la plaine de Buc, pour amener des eaux à Versailles. Dans les cas semblables, l'aqueduc offre l'avantage, non-seulement de faire franchir à l'eau les vallons qui séparent les montagnes, mais encore de faciliter les communications de l'un à l'autre. Lorsqu'il arrive qu'un aqueduc souterrain doit passer sous la voie publique, il faut protéger le conduit par une maçonnerie très-forte. La même précaution doit être prise dans le cas où l'eau coule dans des tuyaux de *conduite* qui passent sous les grands chemins.

On évite par là les fuites d'eau qui seraient dues à l'ébranlement produit par les voitures, et l'on peut faire les réparations sans interrompre le passage.

23. La vitesse de l'eau dans un aqueduc doit être réglée d'après les mêmes principes que lorsqu'elle coule dans un canal. Seulement, comme elle ne peut pas dissoudre les parois et contracter une saveur désagréable, ni les dégrader par le frottement, il s'ensuit qu'on peut faire varier la vitesse dans des limites plus étendues.

24. Quand on n'est gêné par aucune condition particulière, il est convenable de laisser plus de pente pour que l'eau coule rapidement. Mais il est essentiel quelquefois de ne pas perdre inutilement une partie de la hauteur, lorsqu'il s'agit surtout de conduire les eaux dans une ville, afin qu'elles puissent être distribuées dans les quartiers les plus élevés, ou recueillies dans des réservoirs supérieurs, soit pour en tirer des cascades, soit pour arrêter les progrès des incendies, soit pour leur conserver une plus grande force motrice, etc.

25. Les Romains avaient donné à la plupart de leurs aqueducs une pente telle que la vitesse de leurs eaux devait être de plusieurs mètres par seconde; mais à cette époque, l'hydraulique n'était pas assez avancée pour que des principes sûrs servissent à la détermination de cette vitesse. Frontin remarque, dans son Commentaire sur les aqueducs de Rome, écrit vers l'an 97 de l'ère vulgaire, que les premiers Romains conduisaient les eaux à une élévation trop faible, soit qu'ils n'eussent pas porté l'art de niveler à sa perfection, soit qu'ils aimassent mieux enfouir les conduits, de crainte qu'ils ne fussent coupés par l'ennemi, dans un temps où ils étaient conti-

Digitized by Google

nuellement en guerre avec leurs voisins [1]. Il est aussi probable que les Romains eurent l'intention de faire couler l'eau de leurs aqueducs avec une vitesse à peu près égale à celle des eaux vives que la nature répandait avec abondance autour d'eux, et qu'ils durent adopter pour cela des règles pratiques que l'expérience leur suggéra.

26. Les grands travaux hydrauliques exécutés sous Louis XIV, pour l'embellissement de Versailles, ne se recommandent pas par un grand but d'utilité publique; mais ils ont eu le précieux avantage de fournir l'occasion de perfectionner les méthodes de nivellement; de présenter une application des premières découvertes sur la pesanteur de l'air, la pression des liquides, les phénomènes de leur écoulement, et de fournir les moyens de faire des expériences qui, plus tard, ont servi de base à des théories plus parfaites et plus rigoureuses.

27. On fit couler les eaux avec moins de vitesse et l'on perdit le moins possible de la hauteur de charge, soit pour recueillir les eaux les moins élevées, soit pour augmenter l'effet hydraulique, une fois qu'elles étaient arrivées à leur destination.

28. Afin de présenter à cet égard un terme de comparaison, nous allons réunir dans un tableau les pentes de quelques rivières, celles des différentes rigoles qui alimentent les points de partage de plusieurs canaux de navigation, et des aqueducs tant anciens que modernes.

[1] *Commentaire de S.-J. Frontin sur les aqueducs de Rome*, traduit par Rondelet. Paris, 1820.

Digitized by Google

Tableau de quelques expériences faites sur le mouvement des eaux courantes dans les rivières et canaux.

DÉSIGNATION des RIVIÈRES, CANAUX, RIGOLES et aqueducs.	PENTE par kilomètre, exprimée en millimètres.	VITESSE par seconde.	OBSERVATIONS.
Tibre.....	»	1,00	A Rome, pendant les basses eaux.
Seine.....	125,00	0,78	Observation faite par M. de Chezy, entre Surênes et Neuilly, la hauteur sur l'étiage étant de 1m,26.
Loire.....	382,00	1,30	
Rhône, à Arles.....	»	1,46	Dans les basses eaux.
— à Bamaire.....	»	2,60	Même époque.
Durance.....	»	2,60	Vitesse ordinaire depuis Sisteron jusqu'à l'embouchure, la hauteur des eaux sur l'étiage ne dépassant pas 3m,00.
Rigole de Saint-Privé (canal de Briare).....	77,90	»	
— de Courpalet (canal d'Orléans).....	35,30	0,09	
— du canal du Centre....	277,80	»	
Canal de l'Ourcq.....	62,50	0,375	La vitesse a été calculée en supposant une hauteur d'eau de 1m,50.
Id.	123,60	0,540	*Id.*
Aqueducs de Rome.....	1543,32	»	
	2315,00	»	
Aqueduc de Nîmes (pont du Gard).....	400,00	0,61	Vitesse calculée d'après la formule.
— du Mont Pyla (à Lyon)	1666,67	0,90	*Id.*
— de Metz.....	1003,43	0,85	*Id.*
— d'Arcueil.....	416,70	»	
— de Trappes.....	125,00	0,54	D'après une expérience de Picard.
— de Roquencourt....	294,12	»	
— de Maintenon.....	210,00	»	
— de Caserte.....	208,30	0,41	D'après la formule.
— de Montpellier.....	289,00	0,22	
Aqueduc de ceinture de Paris, pour la distribution des eaux de l'Ourcq.....	0,00	»	Le fond de l'aqueduc est de niveau, et l'eau coule en vertu de la pente qui s'établit à la surface.

29. L'aqueduc de Nîmes, mentionné dans le tableau précédent, était destiné à amener dans cette ville les eaux des fontaines d'Eure et d'Airon, situées au levant et au bas de la ville d'Uzès, où il commençait. On peut

Digitized by Google

juger de la longueur de son développement et de son importance par les parties qui restent encore. Le pont du Gard, considéré seul, est un des plus grands monuments que les Romains aient construits dans les Gaules. Il est composé de trois rangs d'arcades superposés. Le premier rang, sous lequel passe le Gardon, est formé par six arches; le second en a onze, et le troisième trente-cinq. C'est au-dessus du troisième rang qu'était établi le canal dans lequel coulaient les eaux, qui traversaient cette vallée à plus de 48 mètres au-dessus des basses eaux de la rivière.

La longueur du monument, au niveau de la cymaise qui couronne le premier étage, est de $171^{m},22$, et de $269^{m},10$ au niveau de la seconde cymaise. Cette dernière longueur est à peu près la même au-dessus des dalles du couronnement du pont-aqueduc, entre les deux extrémités rompues et détruites.

Le canal, ou aqueduc proprement dit, est la seule partie qui ne soit pas en pierre de taille. La largeur intérieure était de $1^{m},22$. La pente générale de l'aqueduc était réglée à 4 centimètres pour 100 mètres.

On reconnaît dans l'aqueduc une pétrification ou concrétion considérable, formée de chaque côté contre la seconde couche de ciment antique qui formait l'enduit. Cette pétrification a une épaisseur à peu près égale de 29 centimètres, sur la hauteur d'un mètre au-dessus du fond. A ce point, elle diminue sensiblement, pour disparaître au point le plus élevé auquel les eaux pouvaient parvenir. Cette concrétion pierreuse, sans doute formée par les dépôts successifs des eaux qui ont coulé dans l'aqueduc, paraît prouver que leur hauteur était subordonnée à l'abondance des sources alimentaires d'Eure et d'Airon; que leur hauteur la plus constante était de 1 mètre au-dessus de la base, et qu'elle s'élevait rarement à $1^{m},40$, parce que, à cette hauteur, on ne trouve qu'une légère trace de sédiment (Pl. I, fig. 6) [1].

Connaissant la section vive du courant dans l'aqueduc et sa pente, on peut calculer la vitesse des eaux par la formule du mouvement uniforme, et l'on trouve qu'elle devait être de $0^{m},61$ par seconde [2].

La quantité d'eau fournie par l'aqueduc était de 732 litres par seconde

[1] *Addition au Commentaire de Frontin sur les aqueducs de Rome*, par Rondelet, Paris, 1821; *Description des monuments antiques du Midi de la France*, par Grangent et Durand.

[2] Nous donnons, dans la fig. 5, le profil de l'aqueduc dans la partie souterraine, d'après un Mémoire publié en 1853 par M. Teyssier. J. D.

Digitized by Google

et de 63,244$^{lit.}$,800 en 24 heures, ou environ 3,294 pouces d'eau de fontainier, mesure de Paris; quantité prodigieuse, eu égard à la population, et qui peut seule donner une idée de la magnificence des monuments hydrauliques des Romains.

30. L'aqueduc du mont Pyla, construit sous l'empereur Claude, pour porter les eaux à Fourvières, sur la partie la plus élevée de Lyon, se fait également remarquer par la beauté et la hardiesse des constructions. Comme il devait traverser des vallons qui avaient une grande profondeur, et que l'établissement de ponts-aqueducs, pour conserver la régularité de la pente, aurait occasionné des travaux immenses et une dépense énorme, capables d'arrêter l'exécution du projet, on eut l'heureuse idée de substituer au canal des tuyaux en plomb, formant siphon, d'un travail et d'une dépense bien moins considérables.

La largeur intérieure du canal était de 0^{m},568; la hauteur de la section était également de 0^{m},568, et la pente de 0^{m},1666... par 100 mètres (1 pied pour 100 toises).

Il en résulte que la vitesse de l'eau devait être de 0^{m},90 par seconde, et le produit de 0$^{kil.}$,290 par seconde; 25,056$^{kil.}$ en 24 heures, ou environ 1,305 pouces de fontainier [1].

31. L'aqueduc de Metz a été également bâti par les Romains. Il amenait les eaux prises dans une vallée au-dessus de Gorze, nommée les Bouillons, par un canal qui avait dans œuvre 1^{m},95 de hauteur sur 0^{m},97 de largeur. La hauteur des eaux paraît avoir été de 0^{m},67, et la pente du canal de 0^{m},100343 pour 100 mètres.

Il en résulte une vitesse de 0^{m},85 par seconde et un produit de 0$^{kil.}$,552 par seconde; 47,692$^{kil.}$,800 en 24 heures, ce qui équivaut à 2484 pouces environ.

M. Lebrun, ancien professeur de l'école d'artillerie de Metz, a fait trois expériences le 20 décembre 1767, pour connaître directement la vitesse des eaux des sources des Bouillons au-dessus de Gorze; de celle de la chute de Saint-Blin et des deux du Parfond-val, toutes réunies dans le canal de

[1] M. Delorme, dans un *Mémoire sur les aqueducs de Lyon*, fixe ce produit à 2,397 pouces d'eau; et M. Rondelet, qui le cite dans son *Commentaire sur les aqueducs de Rome*, à 300 pouces, quoiqu'ils partent des mêmes bases que nous avons adoptées.

Voir page 157, première partie, la description de cet aqueduc. J. D.

Digitized by Google

Gorze et Sainte-Catherine. Il a trouvé que la vitesse était de 26 toises 8 pouces par minute : ce qui revient à $0^m,85$ par seconde, ainsi que nous l'avons déduit de la formule, en considérant la pente, la section d'eau vive, et le périmètre mouillé.

32. Le canal de l'étang de Trappes, dont l'eau fut conduite à Versailles par les soins de Picard, n'avait que 3 pieds de pente sur 4000 toises de longueur ($0^m,125$ par kilomètre). L'eau étant lâchée avec une charge de 3 pieds, emploie 4 heures de temps à faire ces 4000 toises de chemin : ce qui correspond à une vitesse de $0^m,54$ par seconde [1].

33. L'aqueduc de Roquencourt, qui amène l'eau à Versailles, a 3,400 mètres de longueur, et en tout 1 mètre de pente ($294^{mm},12$ par kilomètre). Pour le construire, on a été obligé, en plusieurs endroits, de faire des fouilles à 28 mètres de profondeur, ce qui en a rendu l'exécution très-difficile. Il a coûté 325,000 fr. Accru de toutes les eaux qu'on y a pu réunir, il donne 10 à 12 pouces d'eau. On fit 150 regards sur la longueur de cet aqueduc, à distances inégales et aux lieux qui étaient plus favorables pour le transport des matériaux : 80 de ces regards sont revêtus de maçonnerie; les 70 autres, qui n'ont été nécessaires que pour la construction de l'aqueduc, furent coffrés en bois, bouchés par le bas en voûte de cul-de-four, et comblés de terre jusqu'au niveau de la campagne [2].

34. L'aqueduc de Caserte a été construit par ordre du roi de Naples Charles III, pour amener des eaux dans le château qu'il a fait construire Caserte, ville située à cinq lieues au nord de Naples, dans la plaine où était autrefois Capoue.

Le canal dans lequel coule l'eau a $1^m,19$ de largeur sur environ $1^m,62$ de hauteur. La profondeur d'eau est de $0^m,785$.

La longueur entière de l'aqueduc, depuis la prise d'eau, est de 41,189 mètres. La pente n'est que de $208^{mm},33$ par kilomètre.

La vitesse qui en résulte est de $0^m,41$ par seconde, et le produit de $0^{kil.},383$ par seconde, $33,091^{kil.},20$ en 24 heures, ou 1724 pouces environ.

35. L'aqueduc de Montpellier fut établi en 1752, sous la direction de M. Pitot, ingénieur, membre de l'Académie des sciences.

[1] *Traité du nivellement*, par Picard. Paris, 1780.

[2] *Dictionnaire technologique*, par une société de savants et d'artistes, tome II, page 48, mot *Aqueduc*. Paris, 1822.

Digitized by Google

Le canal proprement dit a 13,904 mètres de longueur, 32 centimètres de largeur intérieure, et 27 centimètres de hauteur : le fond en est réglé d'après une pente uniforme de 289 millimètres par 1000 mètres.

La profondeur de l'eau varie suivant les saisons ; mais elle n'est pas, en général, au-dessous de 15 centimètres.

Dans une expérience faite le 13 juillet 1822 par MM. Gergonne et Jovis, on trouva 16 centimètres. Il en résulte, d'après la formule, une vitesse de 22 centimètres par seconde.

Or, ces messieurs reconnurent qu'une boule de cire d'environ trois centimètres et demi de diamètre, abandonnée au fil de l'eau, parcourait une longueur de 100 mètres en 348 secondes : ce qui fait 29 centimètres par seconde. La vitesse moyenne correspondante à cette vitesse à la surface est, d'après les tables de M. de Prony, de 22 centimètres, ainsi que nous l'avons conclu de la pente.

De là on peut conclure que le produit est de $11^{\text{lit.}},264$ par seconde et de $973,209^{\text{lit.}},6$ en 24 heures, ou de $50^{\text{pouc.}},70$, mesure de fontainier.

La population de Montpellier étant évaluée à 32,814 individus, on trouvera que, sans distinction d'âges, chaque individu a pour sa consommation journalière 30 litres environ.

36. L'aqueduc en maçonnerie qui contourne la partie septentrionale de Paris, depuis le bassin de La Villette jusqu'à Monceaux, forme une ceinture d'eau vive, de laquelle on peut dériver, en différents points, le volume d'eau nécessaire à l'approvisionnement de chaque quartier. Pour conserver aux conduites de distribution la plus grande hauteur de charge possible, on a soutenu le radier de l'aqueduc, dans toute sa longueur, au même niveau que le fond du bassin de La Villette, et les eaux ne peuvent y couler qu'en vertu de la pente qui s'établit à la surface. Il était important de connaître cette pente, ainsi que la vitesse qui en résulte, et de s'assurer si l'aqueduc pourrait fournir une quantité d'eau suffisante pour alimenter les dérivations et satisfaire aux besoins des quartiers qu'elles devaient approvisionner.

37. M. Girard, qui s'est le plus occupé de la distribution des eaux de l'Ourcq, n'a point traité cette question. Le devis, imprimé en 1810, contient la description générale des ouvrages proposés par lui, mais il ne fait

Digitized by Google

pas connaître le volume d'eau qui passerait par l'aqueduc et les rigoles d'embranchement [1].

Ce devis devait être précédé d'un mémoire sur les moyens d'exécution du projet et les avantages qu'on pouvait en obtenir. On l'imprima en 1812. La dépense d'eau de l'aqueduc de ceinture y est fixée à 80,000 kilolitres en 24 heures, ou $0^m,92$ par seconde; et l'on ajoute qu'il serait à propos de donner à cet aqueduc une section qui pût, au besoin, doubler la dépense que nous venons d'indiquer [2].

Il aurait été à désirer que M. Girard entrât dans quelques développements sur les calculs qui lui ont servi à déterminer les dimensions de l'aqueduc de ceinture [3].

DU JAUGEAGE DES EAUX.

38. Dans un grand nombre de circonstances, il est indispensable de mesurer la vitesse de l'eau et la quantité qui s'écoule en un temps donné. Lorsqu'il s'agit, par exemple, de creuser un canal, d'établir une conduite, d'élever des fontaines, etc., il est nécessaire de connaître si l'on peut compter sur la masse d'eau propre à les alimenter.

39. Avant d'indiquer les moyens que l'on peut employer, suivant que le volume d'eau en mouvement est plus ou moins considérable, nous allons examiner comment il convient d'exprimer le produit de l'écoulement, quelle est *l'unité de mesure* qu'il faut choisir.

40. S'il ne s'agissait que d'avoir la mesure cubique d'un volume d'eau, la capacité du vase qui la renferme, il suffirait de l'évaluer en mètres cubes, kilolitres, etc.; mais, comme dans le cas du mouvement, le volume d'eau fourni varie aussi avec le *temps*, il faut multiplier la surface de l'orifice par lequel l'eau s'écoule, ou la section vive, par la vitesse, qui n'est que l'espace parcouru pendant l'unité de temps; et le produit exprimé en mètres cubes, kilolitres, représente le volume d'eau qui s'est écoulé pendant cette unité de temps.

[1] *Description générale des différents ouvrages à exécuter pour la distribution des eaux du canal de l'Ourcq dans l'intérieur de Paris*, par Girard. Paris, 1810.

[2] *Recherches sur les eaux publiques de Paris, les distributions successives qui en ont été faites, et les divers projets qui ont été proposés pour en augmenter le volume*, par Girard. Paris 1812.

[3] Voir, page 91 de nos *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, la formule qui résout cette question. J. D.

Digitized by Google

Au lieu de rappeler chaque fois cette circonstance de temps, on a pensé qu'il serait plus simple d'adopter une unité de mesure qui renfermerait en elle-même l'idée du temps, et pour cela on n'a eu qu'à prendre un volume représentant le produit de l'écoulement par un orifice connu dans un temps donné.

41. A Paris, on suppose que cet orifice est circulaire, a *un pouce* de diamètre, et qu'il est percé dans la paroi d'un vase où le niveau de l'eau est maintenu à *sept lignes* au-dessus du centre. La quantité d'eau qui s'écoule en *une minute* est alors, d'après une expérience de Mariotte, de 13 pintes 3/8, chaque pinte pesant 2 livres moins 7 gros [1]. C'est ce qu'on appelle *pouce de fontainier*. Mariotte n'a pas eu égard à l'épaisseur de la paroi du vase, qui cependant exerce une influence sur le produit de l'écoulement, et c'est ce qui fait qu'on ne s'accorde pas sur la valeur exacte de cette mesure. Il est assez généralement admis aujourd'hui qu'elle vaut 15 pintes, ou 13,3 litres par minute, ou 19,1953 mètres cubes en vingt-quatre heures.

42. M. de Prony a proposé de remplacer le pouce d'eau par le *module d'eau*, qui fournirait 10 mètres cubes en vingt-quatre heures. Il a déterminé par expérience le diamètre de l'orifice $= 0^m,02$, la charge d'eau sur le centre $= 0^m,05$, et l'épaisseur de la paroi $= 0^m,017$, dans l'appareil qui fournit le *double module* d'eau ; et cet appareil a été établi à la machine de Marly (pl. IV, fig. 5, 6 et 7).

43. Il fallait, dans cette expérience, que le niveau restât constant, malgré l'écoulement. Or, voici le procédé ingénieux qu'a imaginé M. de Prony pour obtenir cet effet. Soit *afeb* (pl. IV, fig. 8) le vase d'où l'eau s'écoule ; cette capacité est divisée en trois, *as*, *st*, *te*, par deux diaphragmes, dont la hauteur est un peu moindre que celle du niveau qu'on veut conserver. Dans les deux caisses latérales E′, E″, sont situés deux flotteurs F, F, qui supportent une caisse inférieure G par un système de tringles p', q'. L'eau qui s'écoule du vase *st*, par quelque orifice *y*, et qui est employée à un usage quelconque, est ensuite reçue dans un tuyau qui la conduit dans cette caisse G. Il suit de cette disposition, que toute l'eau qui sort de la cuve vient ajouter son poids aux flotteurs ; ceux-ci doivent

[1] *Traité du mouvement des eaux*, par Mariotte. Paris, 1700.

Digitized by Google

entrer dans l'eau plus profondément à mesure que la charge augmente; et, comme le poids de ces corps doit être égal à celui du fluide qu'ils déplacent, leur enfoncement est tel que le volume immergé soit précisément égal à celui de l'eau reçue dans la caisse, c'est-à-dire au volume d'eau écoulée. Il s'ensuit, par conséquent, que le niveau reste constant, puisque autant il s'abaisserait par la perte d'eau que fait le vase, autant il s'élève par l'enfoncement dû à la charge que reçoivent les flotteurs [1].

44. Lorsque l'eau s'écoule par une ouverture pratiquée dans un vase, elle acquiert une vitesse égale à celle qu'aurait un corps abandonné à la pesanteur, et tombant depuis la surface du liquide jusqu'à l'orifice. Ce principe, découvert par Torricelli, va nous fournir le moyen d'évaluer le volume d'eau qui sort du vase dans un temps donné.

En effet, si le niveau est constant, ce volume, pendant l'instant dt, est égal au produit $\omega v dt$ (ω étant égal à l'aire de l'orifice, et v représentant la vitesse); si donc Q exprime le volume d'eau sorti, ou ce qu'on appelle la dépense pendant le temps t, on aura :

$$dQ = \omega v dt;$$

d'où l'on conclura par l'intégration la valeur de Q en fonction de t.

Mais, d'après le principe précédent, $v = \sqrt{2gh}$, en représentant par h la hauteur ou charge d'eau, et par g la vitesse communiquée à un grave par la pesanteur au bout de l'unité de temps, d'où

$$dQ = \omega\sqrt{2gh}\,dt, \text{ et } Q = \omega\sqrt{2gh}.t.$$

45. Si le niveau était variable, il faudrait chercher d'abord la valeur de h en fonction de t; en la substituant dans l'équation $dQ = \omega\sqrt{2gh}\,dt$, on aura, par une intégration, la valeur de Q en fonction du temps.

46. Pour faciliter les calculs de ce genre, il sera bon de calculer à l'avance une table qui donne la hauteur $\frac{v^2}{2g}$ pour les valeurs de v [2]; parce qu'alors, dans chaque cas particulier, connaissant la hauteur ou charge d'eau sur l'orifice, on n'aura qu'à voir dans la table la vitesse qui y correspond, et multiplier ensuite cette vitesse par la surface de l'orifice, pour avoir le volume d'eau qui s'est écoulé.

[1] Voyez les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1817.

[2] Voir cette table à la fin de la première partie. J. D.

Digitized by Google

47. Lorsqu'un liquide s'écoule par une ouverture qu'on a faite à un vase, il prend la forme d'un *filet* auquel on donne en général le nom de *veine*.

Si l'on suit exactement la forme de la veine liquide, on remarque que d'abord elle a le même diamètre que l'ouverture faite dans le vase; mais à partir de cette ouverture, et tout de suite, elle va en diminuant, de manière qu'elle tend à former une surface conique; elle se relève ensuite, de manière qu'il y a une section de la veine qui est plus petite que toutes les autres. L'endroit où la section se trouve la plus petite s'appelle section de la veine contractée, et ce phénomène est exprimé par le nom de la *contraction de la veine fluide*.

48. Cette contraction a une influence sur le produit de l'écoulement, c'est-à-dire que l'écoulement dû à la théorie, ou calculé d'après la règle de Torricelli, diffère de l'écoulement réel.

Lorsque l'écoulement a lieu *en mince paroi*, c'est-à-dire comme s'il s'opérait par une ouverture pratiquée dans une feuille de fer-blanc, le résultat de l'expérience, comparé à celui de la théorie pris pour unité, donne 0,62 pour le produit de l'écoulement.

Lorsque l'écoulement a lieu par *ajutage*, c'est-à-dire par un tuyau cylindrique, ou conique, ou composé de deux cônes adossés sur la petite base, qu'on applique à l'ouverture du vase, le résultat de l'expérience se rapproche davantage de celui de la théorie, suivant la forme et la dimension de l'ajutage.

Avec un tuyau cylindrique qui aurait une longueur égale à trois fois le diamètre de l'orifice, le résultat peut être porté de 0,62 à 0,82.

Avec un ajutage conique, dont le diamètre inférieur de la petite base serait 1, celui de la grande base 1,24, et la distance entre les deux bases du cône tronqué 0,75, on peut obtenir un écoulement qui irait à 0,90 [1].

49. Pour évaluer le volume d'eau débité par un ruisseau, on y fait un barrage transversal, auquel on dispose une *jauge*. C'est une feuille de fer-blanc percée de trous ayant leurs centres sur une ligne horizontale et un diamètre de 1 *pouce* ou 27 millimètres. L'eau, ainsi arrêtée dans son cours, s'amasse, et son niveau s'élève. On attend qu'il vienne affleurer

[1] *Recherches expérimentales sur le principe de la communication latérale dans le mouvement des fluides*, par Venturi. Paris, 1797.

Digitized by Google

un trait marqué à 1 *ligne* au-dessus de tous les trous; on laisse ensuite écouler l'eau par un nombre suffisant de ces trous pour que tout y passe, et n'en laissant débouchés que ce qu'il faut pour que le niveau se maintienne juste à 1 ligne ou 2 millimètres au-dessus de la tangente à tous les cercles. La source débite donc tout le volume d'eau qui passe par ces orifices, puisque le niveau reste constant, ce qui prouve qu'il s'en écoule autant qu'il en arrive. Ainsi, le nombre de trous ouverts mesure en *pouces de fontainier* la source à jauger.

50. On a reconnu quelques défauts à cet appareil. La charge d'eau sur les centres des orifices n'étant que de 16 millimètres, les agitations se communiquent de la surface supérieure de l'eau à ces orifices, et l'écoulement n'est pas régulier. Dans le nouvel appareil proposé par M. de Prony, la charge serait de 50 millimètres, environ trois fois plus grande. Pour éviter les fluctuations qui ont lieu à la surface supérieure de l'eau dans la caisse, il conviendrait de recevoir l'eau de la source dans un réservoir d'une grande étendue qui environnerait la caisse de jaugeage. Au lieu de faire cette caisse en plomb, l'emploi du zinc serait préférable; ce métal étant plus dur, les trous circulaires se déformeraient plus difficilement par l'enfoncement répété des tampons en bois. Il est indispensable de mettre la caisse à l'abri du vent et des courants d'air qui agiteraient la surface de l'eau; il faut aussi avoir attention de séparer les trous par des intervalles égaux d'environ 20 millimètres au moins.

51. Le mode de jaugeage que nous venons d'indiquer ne suffit plus dès que les ruisseaux fournissent plus de 20 pouces.

52. On mesure alors les eaux courantes en formant des barrages avec *pertuis*, soit horizontal, soit vertical, par lequel les eaux s'écoulent sous une charge constante, et l'on calcule le volume au moyen de formules que M. de Prony a présentées dans un mémoire sur le jaugeage des eaux courantes [1].

53. La vitesse à la surface se détermine de plusieurs manières. On peut d'abord se servir du *tube de Pitot*. Voici en quoi consiste cet instrument, tel qu'on l'emploie aujourd'hui.

Imaginez un tube vertical en fer-blanc, d'environ 2 pouces de diamètre,

[1] *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes*, par M. de Prony. Paris, 1802.

Digitized by Google

et 5 à 6 pieds de long, plus ou moins, tel que AB (pl. V, fig. 3). A la partie inférieure est soudé un coude AC, terminé en cône C, et percé au sommet d'un petit trou. Lorsqu'on plonge ce tube dans l'eau, en tenant l'ouverture C dirigée vers le courant, et la tige AB verticale, le liquide entre par le trou C, et monte dans le tube à un certain niveau D, supérieur à celui EF du liquide extérieur, parce que la pression de l'eau est accrue par la vitesse. La force du courant maintient donc le liquide au-dessus de son niveau d'une quantité DG *qui est à peu près égale à la hauteur due à cette vitesse*, et qui, une fois connue, donnera cette vitesse à l'aide de la table qui précède. Comme il importe de tenir l'instrument tourné directement contre le courant, parce que, sans cela, on n'aurait pas l'effet dû à la vitesse entière, on dirige l'instrument dans divers sens, et on l'arrête à la situation qui donne la plus grande hauteur dans le tube ; et cette direction peut être droite ou oblique au lit du fleuve, parce qu'il arrive souvent que la vitesse suit une ligne inclinée au rivage. Au contraire, quand le coude est dirigé dans le sens diamétralement opposé, le niveau dans le tube s'abaisse, et la hauteur *minimum* est celle du plan de flottaison EF. Ces deux expériences déterminent, comme on voit, la hauteur due au courant, et par suite sa vitesse.

Pour estimer le niveau du liquide dans le tube qui n'est pas transparent, on y a disposé une baguette graduée *b* qui est soulevée par un flotteur *a* en liége, ou une ampoule pleine d'air, à la manière des aréomètres. Voici donc l'usage qu'on fait de l'instrument. On a un bâton armé, à son bout, d'une pointe qu'on implante dans le fond de la rivière, à l'endroit où l'on veut expérimenter. Cette pointe est surmontée d'un disque qui ne lui permet d'entrer que jusqu'à une hauteur qui sera constante durant l'expérience entière. On accole le tube à ce bâton, en l'y maintenant lié, ou seulement en les serrant avec la main l'un contre l'autre, et l'on descend le coude à la profondeur où l'on veut explorer; des divisions marquées sur le bâton donnent la hauteur du niveau, qu'on tâche de rendre *la plus grande possible*, en faisant varier la direction du coude CA, sans en changer l'enfoncement. Ensuite, on tourne ce coude jusqu'à ce que le niveau de l'eau soit dans le tube *au point le plus bas*, ce dont on juge par la baguette *b* saillante en haut du tube. Le flotteur et le poids de la baguette s'enfoncent dans le liquide au même degré dans les deux cas. Mais le niveau de l'eau n'étant pas le même, la partie saillante de la baguette a changé, ce qui fait con-

Digitized by Google

naître deux hauteurs : la différence est celle des niveaux. On note cette différence, qui est la hauteur cherchée.

On répète l'épreuve à diverses profondeurs, et on note pareillement à chacune la différence des niveaux : la moyenne, entre ces quantités, est la hauteur propre à donner la vitesse moyenne dans la verticale où le tube a été plongé. On essaye de la même manière l'effet de l'instrument en tous les points d'une coupe transversale au lit du fleuve ou du ruisseau, et la moyenne de ces résultats donne la vitesse moyenne du courant.

L'aire de la section transversale s'évalue ensuite géométriquement, puisqu'on a fait des sondes en tous les points, et qu'on en a pris les profondeurs et la largeur. Multipliant la vitesse moyenne par cette surface, on a donc le volume d'eau qui s'est écoulé en une seconde, et, par suite, en une minute, une heure ou un jour.

54. Un moyen simple pour arriver à la connaissance de la vitesse d'un courant, consiste à jeter à l'eau un corps léger qui surnage, et que le courant entraîne. Pour éviter l'effet de la résistance de l'air, ou l'action du vent, on prend pour *flotteur*, le plus ordinairement, une petite boule de cire qu'on leste pour la faire entrer en totalité dans l'eau. L'observateur tient une montre à secondes, et suit la marche du flotteur ; il mesure ensuite l'espace décrit dans un temps déterminé, et, divisant l'espace par le nombre de secondes écoulées, il a, au quotient, l'espace décrit en une seconde.

Bien entendu que cette épreuve doit être plusieurs fois répétée pour vérifier le résultat ; on prend ensuite une moyenne entre les diverses vitesses ainsi obtenues, lesquelles doivent peu différer entre elles. Cette moyenne, prise à des jours différents, et par des temps calmes, est exacte et indépendante des circonstances accidentelles. L'expérience doit encore être faite en divers lieux de la surface de niveau, pour reconnaître s'il y a des eaux stagnantes, des remous, ou des lieux de plus grandes vitesses.

On peut diriger l'expérience du flotteur de manière à donner directement la vitesse moyenne entre les vitesses inégales à des profondeurs différentes. A cet effet, on prend une petite baguette d'une longueur à peu près égale à la profondeur du lit, et on la leste par un bout, pour qu'elle prenne, dans l'eau tranquille, une attitude verticale. C'est cette baguette qu'on laisse couler librement avec l'eau, de manière que le sommet dépasse un peu le niveau, pour qu'on en puisse suivre la marche, et qu'elle

Digitized by Google

ne frotte pas sur le fond. On voit alors cette baguette s'incliner au gré des vitesses différentes, et prendre la vitesse moyenne cherchée. Cette inclinaison, en avant ou en arrière, fera même connaître si la vitesse va en augmentant ou en diminuant vers le fond.

55. Le *dynamomètre* peut faire connaître le poids avec lequel la force d'un courant presse une surface donnée qu'on laisse flotter dans l'eau, et qu'on retient avec une ligne ou ficelle qui tire et bande le ressort de cet appareil. Or, ce poids fait de suite connaître la vitesse du liquide, à l'aide de cette proposition qu'on peut regarder comme sensiblement vraie dans la pratique : « L'impression directe d'un courant contre une « surface verticale immobile est le poids d'un prisme d'eau dont la base « est cette surface, et dont la *hauteur* est la *chute* due à la vitesse du « courant. » .

Si l'on divise le poids indiqué par l'instrument, par le nombre d'unités superficielles contenues dans l'aire choquée et par le poids de l'unité cubique de liquide; c'est-à-dire, si l'on divise le nombre de grammes qu'indique le dynamomètre, par le nombre de centimètres carrés de l'aire choquée, le quotient sera la hauteur de la chute en centimètres linéaires, d'où l'on conclura, par notre table, la vitesse du courant. Si, par exemple, une surface de 10 1/2 décimètres carrés (ou 1050 centimètres carrés) est pressée par le courant, de manière à tirer le fil avec une force équivalente à un poids de 7,70 kilogrammes; en divisant 7700 grammes par 1050, on a 7,33 pour quotient; en sorte que la hauteur de chute du fluide étant 7 centimètres 1/3 ou 0^m 733, la vitesse du courant est de 12 centimètres par seconde.

56. Il nous reste à indiquer comment on mesure le volume d'une *nappe d'eau*, telle qu'on en voit dans les cascades des jardins. D'un côté, l'eau est maintenue au-dessus de son niveau d'aval, et elle s'écoule de l'autre en formant une nappe. Les expériences de Dubuat font connaître fort exactement la vitesse et la quantité de l'écoulement. On mesure d'abord la largeur l de l'orifice rectangulaire par lequel la nappe passe (pl. V, fig. 4 et 5); puis la hauteur h du niveau d'amont, au-dessus de la base inférieure de cet orifice, c'est-à-dire la charge d'eau au-dessus de cette base; et l'on trouve que, s'il y a évasement, pour faciliter la sortie de l'eau, le volume du liquide qui coule dans une

Digitized by Google

seconde est, en mètres cubes, $= 2,5261\ l\sqrt{h^3}$, h et l étant exprimés en mètres linéaires. Mais si l'orifice par lequel l'eau passe n'est pas évasé, ce qui arrive dans la plupart des déversoirs, il se fait une contraction dans les deux parties latérales de la nappe, et même à son fond où elle quitte le barrage. L'expérience prouve que la dépense donnée par la formule est réduite aux 3/4, c'est-à-dire qu'il faut remplacer dans notre formule le facteur 2,5261 par 1,895, ce qui désigne, pour la dépense en une seconde, le nombre de mètres cubes désignés par $1,895\ l\sqrt{h^3}$. D'après les expériences de Bidone, le coefficient serait 1,78, et la formule $1,78\ l\sqrt{h^3}$ [1].

Nous n'entendons pas par h l'épaisseur de la nappe d'eau à l'orifice, attendu que la surface du liquide s'affaisse peu à peu en approchant de la nappe, et qu'à l'orifice la hauteur au-dessus de la base est déjà réduite aux 7/10 environ de ce qu'elle était à l'amont. La dépense totale se trouve comme ci-devant, en multipliant la dépense en une seconde, par le temps de l'écoulement exprimé en secondes.

57. M. Girard a présenté, dans une notice sur les jauges de la rivière d'Ourcq et de ses affluents, des considérations générales qu'il importe d'apprécier [2].

Après avoir indiqué les méthodes employées pour mesurer les eaux courantes, et particulièrement celle de Dubuat, qui consiste à multiplier la section du courant par une certaine vitesse moyenne entre toutes celles dont les filets fluides sont respectivement animés, il fait observer :

1° Que le but ordinaire de cette opération est moins d'assigner avec précision la quantité d'eau qui s'écoule dans un seul instant déterminé, que de connaître celle qui est fournie par la rivière ou le courant dont il s'agit pendant un certain laps de temps, soit d'une année, soit de quelques mois, et que la méthode la plus rigoureuse consisterait donc à effectuer la mesure du volume, chaque jour de l'année ; le produit moyen de ces jauges journalières donnerait évidemment la dépense du courant en vingt-quatre heures ;

2° Que, lorsque le courant est barré par des digues qui en soutiennent les eaux, soit pour le service de moulins ou d'usines, soit pour l'en-

[1] *Mémoire de l'Académie royale des sciences de Turin*, tome XXVIII.

[2] *Notice sur les jauges de la rivière d'Ourcq et de ses affluents*, par P.-S. Girard. Paris, 1804.

Digitized by Google

tretien d'une navigation artificielle, il n'est pas possible de regarder comme le produit actuel du courant l'eau qui s'écoule, pendant la durée d'une seule observation, par une section et avec une vitesse déterminées.

On conçoit, en effet, que, suivant les besoins des moulins et usines construits sur une certaine longueur du courant, ou pour le service des écluses qui y sont établies, les eaux sont retenues ou lâchées au-dessus du point où se fait l'observation, de sorte qu'il s'écoule en ce point plus ou moins d'eau, suivant les heures de la journée ; d'où il peut arriver que les jauges faites le même jour donnent des résultats qui diffèrent considérablement entre eux, quoiqu'il n'y ait eu véritablement ni augmentation ni diminution dans la dépense moyenne de ce jour, et que les opérations relatives à chacune des observations aient été faites avec le même degré d'exactitude. On ne peut donc parvenir à évaluer la dépense d'une rivière barrée par des écluses ou des chaussées de moulins, sans faire ouvrir préalablement ces barrages, qu'en mesurant à des intervalles de temps très-rapprochés les uns des autres les quantités inégales de fluide qui s'écoulent par une section quelconque de cette rivière prise entre deux barrages, et en prolongeant suffisamment la série de ces observations successives.

Il est très-rare que les personnes intéressées à obtenir des résultats parfaitement exacts de semblables opérations puissent disposer du temps nécessaire pour s'y livrer exclusivement pendant un an ; ce qui les oblige de les entreprendre sur le même courant en différentes saisons, et à s'en tenir au résultat moyen de leurs observations. D'ailleurs, lorsqu'il s'agit de livrer ces eaux à l'industrie, c'est surtout le *minimum* de leur produit qu'il s'agit de connaître ; et l'on sait que, dans nos climats, la moindre des hauteurs annuelles des eaux courantes est vers l'équinoxe d'automne. C'est donc à cette époque qu'il paraît convenable de faire les observations.

Pour avoir égard à la seconde considération, il faut mesurer d'heure en heure, pendant plusieurs jours consécutifs, la quantité qui s'écoule par une section choisie ; section dont la superficie et la vitesse simultanées peuvent varier à chaque observation, suivant la profondeur du courant.

Il est facile d'avoir égard aux variations de superficie en établissant

Digitized by Google

un repère fixe, auquel on rapporte la surface de l'eau à chaque observation.

Pour mesurer les différentes vitesses superficielles du courant, correspondantes aux variations de la section, on dissémine au même instant sur la surface de l'eau, à l'extrémité supérieure de la portion du bief qui sert de champ aux observations, un certain nombre de boules de cire ou de bois, et on note le temps employé par chacune d'elles pour parcourir la longueur du bief, et l'on prend, pour la vitesse réduite, entre leurs vitesses respectives.

La vitesse superficielle étant ainsi déterminée, il ne s'agit plus que de lui faire subir la correction indiquée par les formules de Dubuat ou de M. de Prony, pour avoir la vitesse moyenne qui doit entrer comme facteur dans le produit du courant.

On évite cette correction lorsqu'on substitue aux boules de bois flottantes à la surface du courant des portions de cylindres creux d'une hauteur à peu près égale à la profondeur de la section, et dans l'intérieur desquels on place une petite quantité de grains de plomb qui servent de lest, et déterminent, par leur position, la coïncidence du centre de gravité du cylindre et du centre d'impulsion du fluide.

DES POMPES.

38. Les pompes ont déjà été appliquées avec succès à la distribution de l'eau dans les villes situées aux abords des rivières. Mais c'est surtout depuis que les perfectionnements apportés dans les machines à vapeur en ont facilité l'emploi que leur usage s'est multiplié.

De tous les moyens que nous avons indiqués pour conduire l'eau aux différents points où il est nécessaire qu'elle parvienne, c'est presque toujours le plus avantageux, lorsque les localités permettent de l'employer. Cependant, comme le choix à faire entre ces moyens dépend d'un grand nombre de considérations, et particulièrement du volume d'eau à fournir, nous ne nous livrerons à l'examen de cette importante question que lorsque nous aurons développé la théorie des pompes à eau et des machines à vapeur.

39. L'air est un corps pesant, dont les molécules jouissent d'une mobi-

Digitized by Google

lité parfaite. Ce qui le distingue des liquides, c'est que ses molécules, au lieu de s'attirer, sont dans un état continuel de répulsion.

La pesanteur de l'air peut se reconnaître au moyen de la balance, et l'on trouve que son poids est 770 fois plus petit que celui de l'eau. *Galilée* démontra le premier cette vérité.

La pesanteur de l'air se manifeste aussi par les pressions que ce fluide exerce, et qui suivent les mêmes règles que les pressions exercées par les liquides ; ce qui a permis de les comparer aux poids des colonnes d'eau ou de mercure qu'elles étaient capables de tenir en équilibre. *Torricelli* reconnut cette propriété, à laquelle nous devons l'invention du baromètre. Ces pressions ont lieu dans tous les sens, en vertu de la fluidité parfaite des molécules, et tous les corps en contact avec lui sont soumis à leur action.

60. Réciproquement, l'air peut être regardé comme soumis à une pression exercée par les corps qui le limitent dans un espace déterminé; pression qui, toutes les fois qu'elle varie, produit un changement dans le volume occupé par les molécules de cet air. Mariotte a reconnu par des expériences que le volume est toujours en raison inverse de la pression, ou bien que la densité de l'air croît proportionnellement à la pression, pourvu que la température reste la même, ce qui exige qu'on laisse refroidir l'air comprimé; et cette loi remarquable, qui s'applique à tous les fluides élastiques, porte son nom.

61. Ces principes généraux suffisent pour expliquer les effets des pompes à eau; et, comme ils sont établis d'une manière exacte, et applicables en toute circonstance, les machines qui ne reçoivent leur mouvement que de l'air peuvent être étudiées jusque dans leurs moindres détails par la théorie mécanique.

62. On distingue deux espèces de pompes : la pompe *aspirante* et la pompe *aspirante* et *foulante*.

63. La pompe aspirante se compose de deux parties distinctes : l'une appelée le *corps de pompe*, l'autre le *tuyau d'aspiration* (pl. V, fig. 6).

Le corps de pompe est un cylindre d'une certaine largeur qui se réunit à un tube plus étroit plongeant dans un réservoir d'eau. Le corps de pompe est séparé du tuyau d'aspiration par une soupape S, qui s'ouvre de bas en haut. Le piston P, qui se meut dans le corps de pompe, est percé

Digitized by Google

dans son milieu et porte une soupape *s*, qui s'ouvre dans le même sens que l'autre. L'étendue que le piston parcourt s'appelle la *course du piston.*

Le piston étant au bas de sa course et reposant sur le fond du corps de pompe, les deux soupapes se trouvent fermées. Si l'on soulève le piston, il se fait un *vide* au-dessous, et l'air qui se trouve dans le tuyau d'aspiration soulève la soupape S et pénètre dans le corps de pompe. Dès lors, cet air occupant un espace plus grand que celui qu'il occupait, ne peut plus, par son ressort, faire équilibre au poids de l'air extérieur. Il faut, par conséquent, que le liquide s'élève à une certaine hauteur, de manière que la colonne d'eau soulevée, plus le ressort qui reste, fassent équilibre à la pression extérieure de l'air.

Le piston redescend ensuite : le ressort de l'air qui était diminué devient égal au ressort de l'air extérieur, et finit même par devenir plus grand. Une fois que cette condition est remplie, la soupape *s*, qui est soumise alors à une pression plus forte de bas en haut que de haut en bas, s'ouvre, l'air s'échappe, et le piston est ramené sans effort jusqu'au bas de sa course.

On remonte de nouveau le piston, la soupape *s* se ferme aussitôt, et, s'il y a encore de l'air dans le tuyau d'aspiration, il soulève la soupape S, qui s'était refermée lors de la descente du piston, et se précipite dans l'espace vide. Cet air perdant son ressort et augmentant de volume, ne peut plus faire équilibre à l'air extérieur; par conséquent il faut que l'eau monte encore d'une certaine quantité.

Après plusieurs coups de piston, l'eau montera jusqu'à la soupape S ou même jusque dans le corps de pompe. Si l'eau a pu s'élever dans le corps de pompe, le piston en descendant fera fermer la soupape inférieure; la soupape supérieure s'ouvrira, et tout l'air renfermé dans l'espace compris entre les deux soupapes s'échappera. En retirant le piston nous ferons un vide, et comme la pression extérieure est constante, il en résultera que l'eau s'élèvera pour remplir ce vide. En descendant le piston, l'eau traversera la soupape *s* et viendra se loger dans la partie supérieure. Alors, en continuant le jeu du piston, on forcera l'eau à s'élever à une hauteur indéfinie, si la force qui fait mouvoir la pompe est suffisante.

64. Telle est la construction de la machine appelée pompe *aspirante.*

Digitized by Google

Il s'agit d'examiner plus particulièrement les circonstances de son mouvement et d'obtenir la mesure de ses effets.

65. L'eau ne pouvant s'élever dans le tuyau d'aspiration qu'en vertu de la pression que l'atmosphère exerce sur la surface du liquide dans lequel il plonge, il est évident que pour que l'eau pénètre dans le corps de pompe et parvienne au-dessus de la tête du piston, il faut que le corps de pompe soit placé à une hauteur inférieure à celle à laquelle l'eau peut être élevée par la pression atmosphérique. A la surface de la terre et au niveau de la mer, cette hauteur est moyennement de $10^m,336$, et la pression d'une colonne d'eau de cette hauteur est égale à celle d'une colonne de mercure de $0^m,76$, puisque le mercure pèse 13,59 fois plus que l'eau. Si cette condition est remplie, l'eau montera dans le corps de pompe, et l'on pourra calculer les dilatations successives de l'air et les élévations correspondantes du liquide opérées par le jeu de la machine.

66. Soient :

L'espace compris entre la soupape dormante et la tête du piston au point le plus bas de sa course. . . . . $=e$;

Ce que devient cet espace lorsque le piston est parvenu au point le plus haut de sa montée. . . . . $=E$;

La section horizontale du vide intérieur du tuyau d'aspiration. $=s$;

La distance variable de la soupape dormante à la superficie de l'eau dans le tuyau d'aspiration. . . . . $=y$;

La distance fixe de la même soupape à la superficie de l'eau du réservoir . . . . . $=a$;

Le piston étant baissé, l'air compris dans l'espace e est de l'air naturel dont nous désignerons le ressort par h, c'est-à-dire que nous ferons h égal à la hauteur d'une colonne d'eau qui exercerait la même pression $=10^m,336$;

Et l'air compris dans le tuyau d'aspiration, ou dans l'espace sy, est de l'air raréfié, dont nous désignerons le ressort par x.

Les choses étant dans cet état, si on lève le piston, le ressort de l'air diminue et l'eau monte dans le corps de pompe. Nommons :

y' la nouvelle distance de la soupape dormante à la superficie de l'eau, x' le nouveau ressort de l'air, et cherchons la valeur de y' et de x'.

67. Pour cela, il faut observer que la masse d'air qui, avant l'élévation

Digitized by Google

du piston, était renfermée dans l'espace $e+sy$, se trouve, après cette élévation, renfermée dans l'espace $E+sy'$.

π étant la pesanteur spécifique de l'air non raréfié, la masse d'air comprise dans l'espace e sera égale à πe.

Pour avoir la pesanteur spécifique π' de l'air raréfié, compris dans le tuyau d'aspiration, et dont le ressort est x', il n'y a qu'à la comparer à celle de l'air non raréfié qui occuperait le même espace.

On a la proportion :

$$h : x :: \pi : \pi' = \frac{\pi x}{h};$$

la masse d'air raréfié comprise dans le tuyau d'aspiration sera donc :

$$\frac{\pi x}{h} sy;$$

et par conséquent, la masse d'air comprise dans l'espace $e+sy$ sera égale à

$$\pi e + \frac{\pi x}{h} sy.$$

Nous avons dit que cette masse d'air se trouve, après l'élévation du piston, enfermée dans l'espace $E+sy'$ et que son ressort est x'. L'expression de ce ressort s'obtiendra également en le comparant à celui de l'air non raréfié qui occuperait le même espace.

La masse de cet air non raréfié serait $\pi(E+sy')$ et son ressort h.

On aura la proportion

$$\pi(E+sy') : \pi e + \frac{\pi x}{h} sy :: h : x';$$

d'où

$$x' = \frac{h\left(e+\frac{x}{h}sy\right)}{E+sy'}.$$

68. Lorsque le ressort de l'air enfermé dans le tuyau d'aspiration était égal à x, ce ressort, joint au poids de la colonne d'eau dont la hauteur est égal à $a-y$, exerçait sur la superficie de l'eau du réservoir une pression égale à celle de l'air extérieur. Cette considération fournit l'équation

$$x+a-y=h, \text{ ou } x-y=h-a;$$

et l'on a de plus, par une raison absolument semblable, l'équation

$$x'-y'=h-a.$$

Digitized by Google

Éliminant, au moyen de ces deux équations, les quantités y et y' de l'équation

$$x' = \frac{he + sxy}{E + sy'},$$

et faisant $h - a = b$, on a, toutes réductions faites, l'équation

$$x' = \frac{bs - E}{2s} \pm \sqrt{\left(\frac{bs - E}{2s}\right)^2 + \frac{he}{s}x^2 - bx};$$

et lorsqu'il n'y a aucun espace entre le point le plus bas de la descente du piston et la soupape dormante :

$$x' = \frac{bs - E}{2s} \pm \sqrt{\left(\frac{bs - E}{2s}\right)^2 + x^2 - bx}.$$

Il est évident que celle des deux racines de l'équation qui donne $x' > h$ doit être rejetée.

69. La valeur de x' étant calculée, on trouve celle de y' par l'équation

$$y' = x' - b.$$

70. On peut, au moyen de ces deux équations, trouver les densités successives de l'air dans le tuyau d'aspiration, les hauteurs successives auxquelles l'eau s'élève dans ce tuyau, et la quantité dont elle s'élève à chaque coup de piston.

En effet, supposons qu'il n'y ait encore aucun coup de piston donné, on a $x = h$, et les valeurs de x' et de y', trouvées par la substitution de h dans les équations de l'art. 66, donneront le ressort de l'air et l'élévation de l'eau après le premier coup de piston.

Substituant la valeur trouvée pour le ressort de l'air, au lieu de x, dans la même équation générale, on aura les valeurs de x' et y', correspondantes au second coup de piston, et ainsi de suite, pour un nombre de coups quelconques. Prenant, après cela, les différences successives des valeurs de y, on aura la quantité dont l'eau s'est élevée à chaque coup de piston.

71. Les équations $x - y = b$, et $x' - y = b$ donnent $x - y = x' - y'$, ou $y - y' = x - x'$. Il est évident que s'il arrivait que l'eau cessât de monter dans un tuyau d'aspiration, la différence de $y - y'$ de deux hauteurs consécutives serait égale à zéro : on aurait donc $x - x' = o$, et substituant les valeurs de x' de l'art. 66 dans cette équation, il en résulterait

Digitized by Google

$$x=\frac{bs-E}{2s}\pm\sqrt{\left(\frac{bs-E}{2s}\right)^2+\frac{he}{s}+x^2-bx};$$

ce qui donne, toutes réductions faites :

$$x=\frac{e}{E}h.$$

Cette valeur, substituée dans l'équation $x-y=h-a$, donne :

$$y=a-\frac{E-e}{E}h.$$

72. Il résulte de ces équations que lorsqu'il y a un espace entre le point le plus bas de la marche du piston et la soupape dormante, l'eau pourra s'arrêter avant d'arriver à cette soupape, et cet effet aura lieu toutes les fois que a sera plus grand que $\frac{E-e}{E}h$. Si la soupape dormante est à la séparation du corps de pompe et du tuyau d'aspiration, le rapport $\frac{E-e}{E}$ sera celui de la longueur que parcourt le piston, dans une montée ou descente, à la distance qu'il y a depuis le point le plus haut de sa course jusqu'à l'extrémité inférieure du corps de pompe.

73. On voit assez aisément, sans calcul, que l'eau doit s'arrêter au-dessous de la soupape dormante, lorsque, levant le piston, l'air naturel renfermé dans l'espace e, et se dilatant dans l'espace E, aura encore, après cette dilatation, un ressort égal à celui de l'air renfermé au-dessous de cette soupape. Il est évident qu'alors l'air inférieur ne tendra point à passer dans le corps de pompe, qu'il n'y aura point d'augmentation de raréfaction, et par conséquent d'ascension d'eau. C'est en effet ce que donne l'équation $x=\frac{e}{E}h$, où x exprime le ressort de l'air au-dessous de la soupape dormante, et $\frac{e}{E}h$ le ressort qu'acquiert l'air en se dilatant de l'espace e dans l'espace E.

74. Le cas où l'on a $a=\frac{E-e}{E}h$ donne $y=o$, et alors l'eau doit monter jusqu'à la soupape dormante : celui où l'on a $a<\frac{E-e}{E}h$ rend y négatif, et alors l'eau doit s'élever au-dessus de cette soupape.

75. Lorsqu'il n'y a point d'espace entre le point le plus bas de la marche du piston et la soupape dormante, alors l'eau doit toujours monter ; car, en faisant dans la dernière équation de l'art. 66 la substitution

Digitized by Google

qu'on a faite dans celle qui la précède, on trouve $E = o$, c'est-à-dire qu'il faudrait, pour que l'eau ne montât pas, que la marche du piston fût nulle.

On trouve la même chose en faisant $e = o$, dans l'équation

$$y = a - \frac{E - e}{E} h;$$

car il en résulte $y = a - h$, valeur qui est négative, puisqu'on a $h > a$; ainsi l'eau parviendra toujours au-dessus de la soupape dormante, quand on aura $e = o$ [1].

76. Si l'on veut avoir la mesure de l'effort qu'il faudra faire pour soulever le piston, il n'y a qu'à prendre la différence des pressions qui ont lieu dans la partie supérieure et dans la partie inférieure.

Dans la partie supérieure nous avons à surmonter, en soulevant le piston, la pression de l'air et le poids de la colonne d'eau qui repose sur le piston; en désignant toujours la première par h et la seconde par P, nous aurons pour la pression supportée par la tête du piston $h + P$. Sur la partie inférieure du piston, nous avons la pression de l'air qui agit par l'intermédiaire de l'eau, diminuée du poids de la colonne d'eau qui va depuis la base inférieure du piston jusqu'au réservoir, et qui agit en sens contraire de la pression atmosphérique; par conséquent, en désignant le poids de cette colonne d'eau par p, la pression exercée sur la base inférieure du piston sera exprimée par $h - p$; retranchant ces deux expressions l'une de l'autre, nous aurons $P + p$, c'est-à-dire le poids de la colonne d'eau au-dessus du piston, plus le poids de la colonne d'eau inférieure, pour mesure de l'effort nécessaire pour soulever le piston.

77. Lorsque le piston descend, on n'a à exercer que l'effort nécessaire pour vaincre les frottements; car, dès le moment que le piston descend, la soupape supérieure s'ouvre, et le piston nage librement dans l'air ou le liquide.

78. En résumé, nous pouvons établir que, pour assurer le jeu de la pompe aspirante, il faut, 1° que le corps de pompe soit placé à une hauteur moindre de $10^m,336$ au-dessus du réservoir d'eau; ou, pour mieux dire, à une hauteur inférieure à celle à laquelle l'eau peut être élevée par la pression atmosphérique;

2° Que le piston descende et vienne s'appliquer exactement sur la base

[1] *Nouvelle architecture hydraulique* de M. de Prony. Paris, 1790.

Digitized by Google

inférieure du corps de pompe, de manière qu'il ne reste aucun espace où l'air puisse se loger entre le dessous du piston et la soupape dormante placée à la séparation du corps de pompe et du tuyau d'aspiration;

3° Que la force appliquée à la tige du piston, et qui détermine son mouvement, soit plus grande que la somme des poids de la colonne d'eau au-dessus du piston, plus la colonne d'eau inférieure, et qu'elle puisse vaincre en outre le frottement du piston et les autres résistances.

79. La pompe *aspirante* et *foulante* a, comme la première, un corps de pompe et un tuyau d'aspiration, qui sont séparés par une soupape S qui s'ouvre de bas en haut; mais, au lieu d'avoir le piston percé et garni d'une soupape, le piston est solide, et la soupape *s* est placée sur le côté du corps de pompe, à l'orifice d'un tuyau latéral, qui d'abord marche presque horizontalement, et s'élève ensuite parallèlement au corps de pompe. La soupape s'ouvre du dedans au dehors.

Supposons que le piston soit au bas de sa course, les soupapes S, *s* fermées. En retirant le piston, on fait le vide dans l'intérieur, au-dessous du piston; la soupape latérale reste fermée par la pression extérieure de l'air, qui agit par le tube; mais la soupape inférieure doit s'ouvrir d'après sa position; d'où résulte une raréfaction de l'air dans le tuyau d'aspiration, et une élévation d'une certaine colonne d'eau, comme dans la première pompe.

On descend ensuite le piston; l'espace dans lequel l'air s'était dilaté diminue, l'air se comprime, la soupape inférieure se ferme; mais la soupape latérale doit s'ouvrir, lorsque l'effort intérieur sera plus grand que l'effort extérieur, et l'air s'échappera par cette soupape, de manière que le piston pourra être ramené en bas immédiatement en contact avec le fond du corps de pompe.

En remontant le piston, on fera de nouveau le vide, l'air se précipitera en ouvrant la soupape, et l'eau montera à une certaine hauteur.

Après plusieurs coups de piston, on introduira l'eau dans le corps de pompe, pourvu qu'on ait rempli cette condition, de se placer à une hauteur moindre de $10^m,336$. Une fois que l'eau est dans le corps de pompe, le piston, en descendant, presse l'eau et la force à ouvrir la soupape latérale, pour se loger dans le tuyau. La colonne dans le tuyau presse au contraire sur la base en raison de la hauteur, et si l'on peut disposer d'une

Digitized by Google

puissance supérieure à cette pression, on pourra faire monter l'eau à une hauteur proportionnée à cette puissance.

Tel est le jeu de la pompe *aspirante* et *foulante*.

80. Pour avoir la mesure exacte de la force qu'il faut employer pour faire marcher cette machine, nous ferons observer d'abord que l'eau ne dépassant jamais le piston, l'effort qu'il faut faire pour monter ce piston est égal au poids de la colonne d'eau soulevée par aspiration. Mais, quand le piston descend, il ne nage plus librement, comme dans le cas de la pompe aspirante; il faut qu'il comprime l'eau et la force à passer par la soupape latérale, pour s'élever par le tube parallèle au corps de pompe, et, par conséquent, il faut un effort qui soit supérieur au poids de la colonne d'ascension.

81. Il y a un grand avantage à régulariser ces deux efforts. Cela est très-facile, toutes les fois qu'il s'agit d'élever l'eau à une hauteur moindre de 20 mètres, parce qu'alors on peut diviser en deux parties égales cette hauteur et placer le corps de pompe de manière que l'effort à faire pour soulever le piston, ou le poids de la colonne d'eau soulevée en aspirant, soit égal à l'effort à faire pour faire descendre le piston, ou au poids de la colonne d'eau élevée dans le tube d'ascension.

82. Mais si l'on devait élever l'eau à plus de 20 mètres, alors, comme on ne peut pas se placer à plus de $10^m,336$ au-dessus du réservoir, il faudra faire un effort plus grand pour élever l'eau dans le tube, que pour la faire arriver dans le corps de pompe ; c'est-à-dire que l'effort nécessaire pour faire descendre le piston sera plus grand que l'effort à faire pour soulever ce même piston.

83. La force nécessaire pour faire monter le piston dans la pompe aspirante, et pour le faire descendre dans la pompe aspirante et foulante, est égale au poids de la colonne d'eau soulevée. Et comme le poids d'une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur exerce une pression de 1 kilogramme sur chaque centimètre superficiel de sa base, on peut le prendre pour unité de mesure, et dire qu'il faudra exercer sur le piston un effort de 1, 2, 3, 4, etc., kilogrammes par centimètre carré de sa base, suivant que l'on voudra élever l'eau à 10, 20, 30, 40, etc., mètres de hauteur. Cet effort peut devenir, comme on voit, très-considérable : aussi l'usage des pompes aurait-il été très-borné, si l'on n'avait pas découvert un mo-

Digitized by Google

teur qui permît d'imprimer à la tige du piston une impulsion très-considérable. Ce moteur, on l'a trouvé dans la force expansive de la vapeur.

Comparaison entre les différents moyens que l'on peut employer pour fournir de l'eau à une ville.

84. Lorsqu'on veut fournir de l'eau à une ville, il faut examiner s'il existe dans les environs des sources, ruisseaux ou rivières dont les eaux saines et abondantes peuvent arriver avec une pente convenable sur les points les plus élevés du sol, et être distribuées dans toute son étendue, ou bien si l'on doit avoir recours aux machines afin d'élever les eaux au-dessus de leur niveau naturel. Bien souvent il est possible d'employer l'un ou l'autre de ces moyens, et le choix doit dépendre de la *qualité des eaux*, de la *sûreté de la distribution* et de l'*économie dans la dépense*.

85. Si l'on n'a pas encore fait usage des eaux que l'on veut amener, il est indispensable de s'assurer si elles sont salubres et propres à tous les besoins de l'économie domestique.

L'eau ne se trouve jamais pure dans la nature : l'eau de pluie ou de neige fait tout au plus exception ; encore y existe-t-il de l'air en dissolution.

Elle contient presque toujours des matières salines, souvent du sel marin et des sels calcaires; quelquefois des sels ferrugineux, du sulfate de magnésie; quelquefois aussi de l'acide carbonique et de l'hydrogène sulfuré libre ou combiné, etc. Quand elle est sapide ou qu'elle contient une quantité remarquable de sels, et capable d'agir sur l'économie animale, elle prend le nom d'*eau minérale* : on donne plus particulièrement le nom d'*eau salée* à l'eau de mer et des sources abondantes en sel marin. Quand, au contraire, l'eau n'a pas de saveur sensible, et qu'elle ne contient que très-peu de sels, elle prend le nom d'*eau douce* : telles sont les eaux de la plupart des rivières et des fontaines. On peut les regarder comme bonnes à boire lorsqu'elles sont vives, limpides, sans odeur; qu'elles cuisent bien les légumes ; qu'elles dissolvent le savon sans donner lieu à des grumeaux; qu'elles ne sont fortement troublées ni par le nitrate de baryte, ni par le nitrate d'argent, ni par l'oxalate d'ammoniaque ; et qu'enfin, évaporées jusqu'à siccité, elles ne laissent qu'un faible résidu [1].

[1] *Traité de chimie élémentaire théorique et pratique*, par M. Thénard. Paris, 1817.

Digitized by Google

Lorsqu'on veut avoir des indications plus précises que celles qui sont fournies par ces caractères physiques et chimiques, il faut avoir recours à une analyse exacte qui donne les moyens d'apprécier la quantité et la nature des substances gazeuses tenues en solution dans les eaux, les proportions des principes fixes ou matières inorganiques qu'elles renferment, et même la présence des substances organiques qui, par leur décomposition, peuvent non-seulement donner à l'eau des qualités malsaines, mais peuvent la priver de tout le gaz oxygène qui rend les eaux potables.

Enfin, si les eaux doivent être amenées par un canal de dérivation, il faut avoir égard à la nature du terrain dans lequel le lit sera creusé, s'assurer s'il ne renferme pas des sels calcaires ou d'autres substances qui puissent se dissoudre dans l'eau et la rendre impropre aux usages de la vie.

Sous ce rapport, les canaux en terre présentent des inconvénients très-grands, lorsqu'il s'agit de conduire une faible quantité d'eau; mais ils diminuent sensiblement lorsque cette quantité est considérable; aussi observe-t-on que les eaux des ruisseaux et petites rivières, qui sont pures à leur source, perdent leur bonne qualité à mesure qu'elles s'en éloignent, tandis que dans les grandes rivières, telles que la Seine, par exemple, elles n'éprouvent pas la même altération, en raison de leur grand volume et de leur vitesse. Le canal de l'Ourcq offre l'exemple d'une dérivation dont les eaux, ayant peu de vitesse, contractent un goût désagréable par leur séjour prolongé dans un lit composé de plusieurs sels calcaires et continuellement rempli de substances organiques dans toutes les périodes de décomposition.

Les canaux couverts conservent à l'eau ses qualités primitives, et la considération de la dépense peut seule les faire rejeter.

Enfin lorsqu'une eau pure et saine se trouve sur les lieux mêmes où l'on veut en opérer la distribution, et qu'il n'y a qu'à l'élever par des machines, nul doute qu'il n'en résulte aucune altération et que, toutes choses égales d'ailleurs, ce mode ne doive être préféré.

86. Les canaux creusés en terre ont encore plusieurs inconvénients, sous le rapport de la sûreté de la distribution : 1° celui d'être exposés aux dégradations causées par la malveillance, l'intempérie des saisons, et les

Digitized by Google

filtrations ; 2° de faire éprouver une perte d'eau par l'évaporation, au moment où les sources sont le moins abondantes.

Dans les canaux nouvellement ouverts, les pertes d'eau sont toujours très-considérables ; elles diminuent à mesure que les terres s'abreuvent ; et l'on parvient quelquefois en peu d'années à fermer les principales voies d'absorption, en sorte qu'il ne reste plus qu'une consommation moyenne et constante, qu'on ne cherche plus à combattre ; il suffit alors de s'assurer si l'on peut disposer d'un assez grand volume d'eau pour faire la part de ces causes de déchet. Mais si le canal est ouvert dans un terrain aride et perméable, et sur des bancs de rochers parsemés de fentes verticales et horizontales, on ne doit plus compter sur une proportion fixe de déchet, on ne doit plus s'attendre surtout à éviter les interruptions de service, même en augmentant les frais et les travaux de revêtement. On sait bien que lorsqu'une dégradation s'est manifestée on peut la réparer à prix d'argent : mais cela ne suffit plus lorsque les eaux doivent être distribuées dans une ville ; il faut que l'on ait la certitude que ces cas seront très-rares et qu'ils ne produiront pas une suspension totale dans l'écoulement. Qu'on se figure l'anxiété d'une ville populeuse où l'eau manque subitement, et l'on n'hésitera pas à préférer les aqueducs ou les machines. Les aqueducs peuvent être construits avec solidité, et les machines peuvent se multiplier de manière à n'avoir à craindre aucune interruption.

Le canal de l'Ourcq a été construit avec beaucoup de soin, et l'on n'a rien épargné pour rendre les berges parfaitement étanches. Cependant, non-seulement il y a encore beaucoup d'infiltrations, mais il arrive assez fréquemment des avaries qu'on ne peut réparer qu'en interceptant tout à fait l'écoulement des eaux. De là les réclamations de la part des concessionnaires. Que serait-ce si l'approvisionnement de Paris dépendait uniquement de l'arrivée de ces eaux !

87. Les frais que peuvent occasionner l'ouverture d'un canal ou la construction d'un aqueduc en maçonnerie dépendent des obstacles naturels résultant de la situation des ouvrages, de la distance à laquelle il faut prendre les eaux, et du volume auquel il s'agit de fournir un écoulement. L'évaluation de ces dépenses ne peut pas être soumise à une règle générale, mais on peut reconnaître que dans chaque cas particulier elles varient avec le volume. La section d'eau vive est, en effet, proportionnelle

Digitized by Google

à la dépense d'eau, la vitesse restant la même. Or, tout changement dans cette section en entraîne un dans le travail du canal, puisqu'on ne peut l'obtenir qu'en augmentant la profondeur d'eau, ce qui exige qu'on l'enfonce davantage ou qu'on donne plus d'épaisseur aux digues, ou bien en élargissant le fond de la cuvette, ce qui produit également une augmentation dans le cube des ouvrages. Dans l'un ou l'autre cas cette augmentation n'est pas exactement proportionnelle à la section : elle croît dans un moindre rapport.

Lorsqu'on emploie des machines, la dépense est au contraire proportionnelle au volume d'eau à fournir, parce que la valeur d'une machine est sensiblement proportionnelle à sa force ou au nombre de chevaux de vapeur qui l'exprime, et qu'un même poids de charbon doit développer le même nombre d'unités dynamiques, quelle que soit la puissance de cette machine.

Il résulte de cette différence dans le rapport d'accroissement de la dépense, selon qu'on emploie un canal ou des machines, qu'il y a dans chaque cas particulier un certain volume d'eau pour lequel il est indifférent d'employer un canal de dérivation ou des machines à vapeur, et que, suivant que le volume d'eau se trouve au-dessus ou au-dessous de cette limite, il vaut mieux employer l'un ou l'autre de ces deux systèmes.

83. Nous allons appliquer ces observations à l'établissement du canal de l'Ourcq.

Si l'on considère ce canal comme devant former l'extrémité d'une ligne navigable qui établirait, par exemple, une communication entre Paris et la Meuse, et comme destiné à amener la quantité d'eau nécessaire tant aux besoins de Paris qu'à l'entretien du bassin de partage, situé à La Villette, des canaux Saint-Denis et Saint-Martin; si cette quantité d'eau est de 13,500 pouces et peut être réellement dérivée de la rivière d'Ourcq, en y joignant quelques affluents, nul doute qu'on ne pouvait atteindre ce double but que par son exécution.

Mais si son objet spécial est de fournir à Paris l'eau qui lui manque pour les besoins journaliers de ses habitants, et d'alimenter le canal de la Seine à la Seine; s'il n'offre aucune utilité sous le rapport de la navigation; si la quantité d'eau qu'il amène n'est que de 7,000 pouces environ, nous reconnaîtrons qu'il aurait mieux valu renoncer à son établissement. Cela n'anrait pas empêché de construire le canal de la Seine à la Seine,

Digitized by Google

puisqu'on aurait pu dériver de la Beuvronne les 1,200 pouces qui suffisent pour l'alimenter, au moyen d'une rigole ou d'un aqueduc en maçonnerie, ou mieux encore élever ce volume d'eau par les mêmes machines qui auraient fourni la quantité d'eau de Seine nécessaire à la consommation journalière des habitants de la capitale.

Entrons dans la discussion de ces deux moyens.

Les dépenses faites jusqu'au 1er janvier 1816, pour la construction du canal de l'Ourcq, s'élevaient à la somme de	14,353,118f 51c	
Les dépenses restant à faire furent estimées par la Commission nommée en 1816[1], à la somme de.	9,973,150 »	
Total.	24,326,268 51	
Les droits de navigation ont été évalués à.		60,000f
Les fermages des récoltes et de la pêche, à..		50,000
		110,000
Il faut déduire, pour salaire des percepteurs, pontonniers et gardes.. . . . . 15,000f Pour l'entretien annuel et autres dépenses courantes. . 35,000		50,000
Reste..		60,000
qui, à 5 pour 100, représentent un capital de.		1,200,000
La dépense s'élève à.		24,326,268
Excédant de la dépense sur le capital des revenus. . .		23,126,268

Ce résultat prouve assez que le canal de l'Ourcq ne doit être considéré que comme une rigole destinée à alimenter le canal de la Seine à la Seine et le service de la distribution dans Paris, puisque, considéré comme navigable, la dépense excède le revenu d'une somme aussi forte.

D'après les traités faits avec la Compagnie qui l'a terminé, la ville s'est réservé..	4,000 pouces.
La quantité d'eau destinée à chacun des versants du canal de la Seine à la Seine est de 1,500 pouces..	3,000
Total.	7,000 pouces.

[1] Rapport d'une Commission spéciale d'ingénieurs du corps royal des ponts et chaussées, sur la situation des travaux du canal de l'Ourcq et de ses dépendances, à l'époque du 1er janvier 1816, et sur les dépenses qui restent à faire pour terminer cette entreprise. Paris, 1819.

Digitized by Google

Voyons si, pour obtenir ces 7,000 pouces d'eau, il était absolument nécessaire de dépenser 23,126,268 francs.

Les 4,000 pouces d'eau destinés à la distribution, en les supposant empruntés à la Seine, étant jetés immédiatement dans les conduites, il suffira de tenir compte de leur élévation à 25 mètres de hauteur, niveau fixé par le bassin de La Villette.

Les 3,000 pouces destinés à la navigation devraient être portés dans ce bassin. Plusieurs moyens se présentent pour atteindre ce but; mais le plus simple consisterait à les élever successivement dans les cinq biefs dont se compose le canal Saint-Martin, qui établit la communication entre la Seine et le bassin de La Villette; ce qui reviendrait, en définitive, à élever les 3,000 pouces à 25 mètres de hauteur, sans se servir d'aucun intermédiaire d'aqueduc ou de conduite pour leur faire franchir la distance de 5,000 mètres environ qui sépare la rivière du réservoir supérieur formant le point de partage.

On aurait donc eu 7,000 pouces d'eau à élever à 25 mètres de hauteur : ce qui fait 3,500,000 unités dynamiques à développer. La force d'un cheval de vapeur étant de 6,480 unités, produites en 24 heures, on eût obtenu l'effet demandé par l'établissement d'un système de machines de la force de 540 chevaux; savoir : une machine de 40 à 50 chevaux à chacune des écluses accolées qui rachètent les différences de niveau de 5 à 6 mètres entre deux biefs consécutifs, et 3 machines de la force de 100 chevaux pour élever l'eau destinée à la distribution.

Ces huit machines pourraient coûter 810,000 fr., à raison de 1,500 fr. par cheval, et si l'on suppose que l'on en ait huit de rechange, il faudra tenir compte d'une dépense de.	1,620,000f
L'amortissement de ce capital, en supposant que les machines durent chacune vingt-cinq ans, exigera une annuité de 16,972 fr., qui représente un capital de.	339,440
Le charbon consommé se calcule à raison de 1 kilogramme pour 100 unités dynamiques; ce qui fait 35,000 kilogrammes à brûler par jour et 12,775,000 kilogrammes par an, représentant, à 0,05 c. le kilogramme, une dépense annuelle de 638,750 fr. et un capital de	12,775,000
Les frais d'entretien des machines s'évaluent à 100 fr. par cheval, ce qui fait 54,000 fr. par an, ou un capital de	1,080,000
A reporter.	15,814,440f

Digitized by Google

Report.	15,814,440f
Pour salaire du conducteur des machines, des chauffeurs et autres ouvriers, 30,000 fr. par an, ou un capital de.	600,000
TOTAL.	16,414,440
Le canal de l'Ourcq revient à.	24,326,268
DIFFÉRENCE.	7,911,828f

Il en serait donc résulté une économie de près de huit millions, si l'on avait pris l'eau dans la Seine.

Et si l'on considère que, dans cette supposition, l'eau se trouvant au centre de Paris, il en aurait moins coûté pour la distribuer qu'en la dérivant du bassin de La Villette; que la plupart des rues de Paris ne se trouvant qu'à 10 mètres au-dessus de l'étiage de la Seine, on n'aurait pas été obligé d'élever la totalité de l'eau à la hauteur constante de 25 mètres fixée par le niveau de ce bassin; que la navigation ne consommant pas 3,000 pouces d'eau, on n'aurait élevé que la quantité nécessaire; que l'établissement des machines pouvant se faire promptement, les capitaux ne seraient pas restés improductifs pendant les 24 ans qu'a duré la construction du canal; si l'on ajoute, ainsi que nous l'avons déjà établi, que la qualité de l'eau aurait été meilleure, la distribution plus sûre et plus économique; on en conclura nécessairement que la comparaison entre les deux projets est tout à fait favorable à l'emploi des machines à vapeur [1].

L'administration ne possédait pas, à l'époque où la construction du canal de l'Ourcq fut arrêtée, tous les éléments de la question; aussi notre intention, dans cet examen, est-elle simplement de prouver par un exemple l'importance d'une semblable discussion, et de mettre à profit les leçons de l'expérience.

[1] A ces considérations en faveur des machines à vapeur, on pourrait ajouter que dépenser immédiatement un capital, ou seulement les intérêts de ce capital pour avoir annuellement un certain résultat, n'est pas la même chose. Chaque million de capital dépensé impose à l'avenir une perte de 50,000 fr. que rien ne saurait réduire; tandis que, quand on obtient le même résultat avec 50,000 fr. de dépense annuelle, il est probable que dans l'avenir cette dépense décroîtra indéfiniment par suite des perfectionnements que le temps ne manque jamais d'amener dans les moyens de production. Ainsi, le kilogramme de charbon, porté à 0f,05 dans l'estimation de M. Genieys, ne se payerait plus aujourd'hui que 0f,025. Voilà donc une réduction de 6 millions dans l'évaluation précédente. De plus, ce calcul suppose qu'on élève tous les jours 4000° d'eau pour la distribution de Paris; or, l'Ourcq n'en a guère jamais fourni que la moitié pour cet usage, et à l'époque où M. Genieys faisait son calcul, il n'en fournissait certainement pas le quart. D'un autre côté, les

Digitized by Google

CONDUITE.

89. Dans l'établissement d'une conduite, nous allons examiner successivement les *tuyaux* dont elle est formée, les *robinets* qui servent à intercepter ou à rétablir l'écoulement des eaux, et les *ventouses* qui facilitent leur mouvement en donnant une issue à l'air.

90. Les tuyaux de conduite étaient autrefois presque tous en poterie ou en bois, ce qui les rendait fragiles, sujets à fuir et à s'engorger. On se servit ensuite du plomb. La durée de ce métal, la facilité que l'on avait de faire varier suivant les circonstances la forme des tuyaux, de les réunir au moyen d'une soudure, en firent adopter l'usage. Mais lorsqu'on voulut appliquer le plomb à des distributions d'eau qui exigeaient des conduites d'un grand diamètre, on reconnut bientôt que son emploi entraînerait dans des dépenses considérables, et l'on chercha à y substituer la fonte de fer. C'est aujourd'hui le métal le plus généralement adopté. On ne se sert du plomb que pour les raccordements et les extrémités des branchements particuliers qui portent l'eau dans les édifices, ou qui la distribuent dans l'intérieur des fontaines, parce qu'il se prête à toutes les inflexions.

91. Avant de développer les raisons qui doivent diriger dans le choix à faire entre les tuyaux de différentes matières, nous allons tracer les règles de calculs qui servent à déterminer leurs diamètres et l'épaisseur de leurs parois, d'après le volume d'eau qu'ils ont à porter et les fonctions de résistance qu'ils ont à remplir.

92. Lorsqu'il s'agit d'une conduite isolée, recevant l'eau d'un bassin supérieur et l'introduisant dans un bassin inférieur, nous avons vu que l'on pouvait établir une relation entre la dépense d'eau, le diamètre de la conduite, sa longueur et la charge motrice au moyen de l'équation

$$Q = c\sqrt{\frac{H+\zeta-H'}{\lambda}}\,D^{5},$$

canaux de l'Ourcq, de Saint-Denis et Saint-Martin ont pris une importance que cet ingénieur ne soupçonnait pas. La comparaison faite entre les deux systèmes d'alimentation serait donc susceptible de nombreuses observations, s'il pouvait être question d'arriver à une évaluation exacte de ce que la ville de Paris a pu perdre ou gagner par suite de la construction du canal de l'Ourcq. Mais cette question toute locale ne saurait avoir d'importance dans cet ouvrage : nous ne chercherons donc pas à rectifier les chiffres qui nous paraissent inexacts, et à discuter les détails du système d'alimentation proposé par M. Genieys pour le canal de la Seine à la Seine et pour la distribution de Paris. J. D.

Digitized by Google

Dans laquelle

Q représente la dépense d'eau par seconde de temps,

λ, la longueur de la conduite,

D, son diamètre,

ζ, la différence de niveau entre les orifices extrêmes,

H et H', les charges d'eau qui pèsent sur ces orifices et que nous avons supposé devoir produire exactement les *pressions réelles* qui ont lieu contre les parois,

c, une constante.

93. Ce cas est encore le seul que l'on ait examiné et pour lequel l'expérience ait confirmé les résultats de la théorie. Mais la formule ne peut pas s'appliquer immédiatement à un système de conduites recevant l'eau d'un réservoir supérieur et l'introduisant dans plusieurs bassins inférieurs, comme lorsqu'il s'agit d'une distribution d'eau, soit à des fontaines publiques, soit à domicile pour le service des particuliers, au moyen de branchements sur une conduite principale.

Dès lors λ et ζ sont pour chaque tuyau du système les seuls éléments dont on puisse avoir la mesure immédiate, et les hauteurs H et H', représentatives des pressions extrêmes qui s'exercent sur deux bouts de chaque partie de conduite, entre deux branchements consécutifs, deviennent des inconnues du problème.

94. Pour bien apprécier les différences entre ces deux systèmes, analysons ce qui se passe dans le phénomène du mouvement de l'eau dans une conduite isolée.

L'eau se meut en vertu de la charge qui s'exerce sur l'orifice d'amont et du poids de la masse d'eau dans les parties descendantes de la conduite, le tout diminué de la portion de la charge absorbée par les frottements contre les parois et par le poids de la masse d'eau dans les parties ascendantes de la conduite, ou sur l'orifice d'aval.

Il s'ensuit qu'il se fait constamment une espèce de division de la *puissance motrice*. Une première partie est employée à produire la vitesse de l'eau dans la conduite, une deuxième à vaincre les frottements contre les parois, et une troisième à surmonter la résistance provenant du poids de l'eau qui agit en sens contraire du mouvement.

95. C'est cette partie de la puissance qui détermine principalement une

Digitized by Google

pression contre les parois de la conduite. Elle est très-faible dans les canaux à découvert, où toute la force motrice est pour ainsi dire employée à imprimer ou à vaincre les frottements contre les bords; mais dans les conduites *forcées* elle peut être très-considérable, et c'est ce qui donne la facilité de distribuer l'eau, en établissant des branchements sur la conduite principale, quoique les points de jonction se trouvent plus bas que ceux où l'eau doit arriver.

Si l'on perçait la conduite et qu'on implantât dessus un tuyau vertical, l'eau s'élèverait à une certaine hauteur, et c'est cette hauteur qui mesurerait la *pression* dans cette partie de la conduite.

96. En établissant un branchement, la hauteur de la colonne d'eau représenterait évidemment la *charge* sur l'orifice, et cette charge produirait une pression sur la paroi de cet orifice, qui servirait à établir la formule d'écoulement de l'eau dans ce tuyau secondaire.

97. De même qu'on a supposé, dans le cas d'une conduite isolée, que la hauteur de la charge sur l'orifice supérieur était égale à la hauteur de la colonne d'eau qui mesure la pression, il était tout naturel de faire la même hypothèse pour chaque branchement, c'est-à-dire de supposer que la pression que supporte la conduite principale à l'origine de chaque branchement est la même que celle du tuyau secondaire. Cela donnait le moyen de mettre le problème en équation, et de traiter la question de l'écoulement dans toute son étendue.

98. M. Bélanger, que j'ai déjà eu l'occasion de citer, m'en fit le premier la remarque, et plus nous reconnûmes combien il serait alors facile de résoudre toutes les difficultés, plus nous sentîmes combien il était nécessaire d'apprécier l'étendue de l'erreur que l'on commettait en faisant varier la vitesse, de fixer les limites qu'il ne fallait pas dépasser dans la pratique pour obtenir des résultats suffisamment approchés.

99. Nous avons entrepris, de concert avec M. Mallet, pour atteindre ce but, une suite d'expériences dont je vais présenter la description.

100. L'instrument qui nous a servi se compose d'un tube en verre recourbé dont les deux branches sont graduées (pl. VII, fig. 7). On les fait communiquer, au moyen de tubes en plomb, avec l'intérieur des conduites. L'eau s'élève dans ces tubes et se rend dans l'instrument en comprimant

Digitized by Google

l'air qu'il renferme. Un petit trou percé au sommet et recouvert par une tige qui tourne dans un écrou, permet de faire sortir de l'air à volonté, jusqu'à ce que l'eau paraisse dans les branches graduées et soit visible à travers le verre. L'instrument est porté par un pied ordinaire de graphomètre, et on le place de manière que les divisions correspondantes soient sur même ligne de niveau : voici maintenant son usage.

101. Je suppose que l'on ait une conduite de $0^m,25$ centimètres de diamètre, sur laquelle on établit un branchement de 81 millimètres de diamètre. L'eau prendra dans le petit tuyau une certaine vitesse qui dépendra de la *pression* qu'elle exerce à son origine. Il s'agit de vérifier si cette pression est égale à celle qui s'exerce sur la paroi du gros tuyau au point où l'on a fait l'érogation, ou si elle en diffère.

Pour cela, on perce un petit trou sur chaque tuyau, et l'on établit une communication avec les branches de l'instrument. Si les deux pressions sont égales, l'eau s'élèvera au même niveau dans les deux branches ; si elles sont inégales, l'eau s'élèvera à des hauteurs différentes, et la différence entre les deux hauteurs mesurera la différence des pressions.

102. Il faut bien remarquer que, quoique les trous percés dans les tuyaux ne soient pas à la même hauteur, cela ne cause aucune erreur, parce que les pressions sont toujours rapportées au même niveau déterminé par celui des deux branches de l'instrument.

103. De plus, on avait placé un robinet d'arrêt sur chaque conduite, afin de régler la vitesse de l'eau, et pris les mesures nécessaires pour jauger exactement l'eau qu'elles débitaient.

104. Nous avons commencé par fermer le robinet du branchement, de manière que toute l'eau s'écoulât par la conduite principale. L'eau s'est élevée à la même hauteur dans les deux branches de l'instrument et y est restée stationnaire. Nous en avons conclu : 1° que la pression était la même sur la paroi des deux tuyaux ; 2° que les petits mouvements qui pouvaient avoir lieu à la rencontre des deux tuyaux et altérer l'uniformité du mouvement ne produisaient en effet aucune influence.

Nous avons ensuite ouvert le robinet d'arrêt du tuyau secondaire ; l'eau a baissé de $0^m,12^c$ dans la branche de l'instrument qui était en communication avec lui.

Jaugeant les quantités d'eau fournies par les deux conduites, nous avons trouvé que la conduite de $0^m,081$ avait fourni en 15 minutes 3,920 litres,

Digitized by Google

ce qui fait par seconde $4^{lit.},355$. Divisant par la section du tuyau égale à $0^{ms.},0051530$, on trouve que la vitesse était de $0^{m},847$ par seconde.

Cette vitesse est due à une hauteur de $0^{m},036569$.

La différence de pression étant de $0^{m},12$, il s'ensuit que la perte aurait été un peu plus de *trois fois* la hauteur due à la vitesse [1].

La conduite de $0^{m},25$ avait fourni à l'aval du branchement $20,724^{lit.},48$ en 19 minutes, ou $18^{lit.},179$ par seconde : ce qui fait à l'amont du branchement, en y ajoutant le produit de la conduite de $0^{m},081$, $22^{lit.},534$ par seconde. Divisant par la section de la conduite, qui est égale à $0^{ms.},0490875$, on trouve que la vitesse était de $0^{m},459$ par seconde.

105. Le gros tuyau peut être considéré comme un réservoir par rapport au petit branchement; d'où l'on voit qu'en prenant la pression qui s'exerce sur la paroi de ce gros tuyau comme mesure de la *pression* ou de la *charge* qui a lieu à l'origine du branchement, on aurait commis une erreur de 12 centimètres.

106. Dans une seconde expérience, nous avons fermé le robinet sur la conduite principale, de manière que toute l'eau s'écoulât par le branchement.

La différence de pression indiquée par l'instrument a été de 153 millimètres.

La quantité d'eau fournie a été de 3,100 litres en 10 minutes, ce qui fait par seconde $5^{lit.},1666$.

Divisant ce produit par la section, on trouve que la vitesse était de

[1] Le calcul de cette expérience nous paraît très-défectueux, en ce qu'il ne tient pas compte de la perte de charge due au parcours des parties des tuyaux comprises entre les branches du manomètre. M. Genieys n'a pas figuré en plan la disposition de ses conduites, de sorte qu'on ne sait pas où est piqué le manomètre sur la grosse conduite. Quant au branchement, il paraît, d'après la figure, y avoir 4^{m} de A en B; or, la perte de charge due au parcours d'un tuyau de $0^{m},81$ de diamètre est donnée par la formule de M. de Prony :

$$\frac{1}{4}DJ = 0,000265;$$

d'où

$$J = \frac{0,00106}{0,081} = 0^{m},013;$$

donc la perte de charge omise par M. Genieys est $0^{m},013 \times 4 = 0^{m},052$. L'ajoutant aux $0^{m},036$ produits par l'augmentation de vitesse, il ne reste plus que $0^{m},032$ dus à l'érogation ; c'est-à-dire que la perte de charge ne correspond qu'à un peu plus de 2^{m} de parcours. C'est à peu près ce que nous avons trouvé dans des expériences où l'érogation était faite par des tuyaux de même diamètre.

J. D.

Digitized by Google

$1^m,003$ par seconde, qui est due à une hauteur de $0^m,05128$, ou le tiers environ de la perte réelle.

La section de la conduite principale étant de $0^{mq.},0490875$ et la dépense de $5^{lit.},1666$ par seconde, nous aurons pour la vitesse $0^m,105$, qui est due à une charge de $0^m,00056198$.

107. Nous avons répété plusieurs fois la même expérience en faisant varier la vitesse, et nous sommes toujours parvenus au même résultat; d'où l'on peut conclure que pour des vitesses de $0^m,20^c$ à 1^m par seconde, telles qu'elles ont lieu dans la pratique, on pourra substituer la charge à la pression qu'elle produit, pourvu qu'on ajoute à cette charge le triple de la hauteur due à la vitesse. Cette correction devra se répéter autant de fois qu'il y aura d'embranchements de tuyaux, suivant que l'on passe d'une conduite principale dans un répartiteur, et de là dans un tuyau de service, pour arriver enfin au tuyau du particulier.

Nous avons également cherché à évaluer avec le même instrument la diminution de pression due à l'influence d'un coude, au point où la conduite de $0^m,25$ s'élevait perpendiculairement pour arriver au château d'eau de Bondi.

Cette diminution a été de 12 millimètres; la vitesse de la masse fluide était de $0^m,591$ par seconde.

Nous allons vérifier si cela s'accorde avec la formule de Dubuat.

L'expression qui donne la résistance ou perte de charge produite par un coude est :

$$0,0123\, s^2 v^2,$$

dans laquelle s^2 représente la somme des carrés des sinus des angles de réflexion, et v la vitesse.

D'un autre côté, le sinus verse de l'angle de réflexion est égal au demi-diamètre intérieur de la conduite, divisé par le rayon de l'arc du coude.

Dans ce cas,

Le demi-diamètre $= 0^m,125$;

Le rayon de l'arc $= 1^m,125$;

D'où sinus verse. . $= 0^m,1111$. . . . .

Cosinus. . . . . $= 1 - 0^m,1111$. . . . . $= 0^m,8888$. . . . .

Le logarithme du cosinus est 9,9488480, qui correspond à un angle de 27° 16′.

Digitized by Google

Le nombre d'angles de réflexion est égal à l'arc du coude divisé par l'angle de réflexion. Il y en a donc deux.

Nous aurons :

$$s^2 = 2\,(\sin 27^\circ\, 16')^2,$$

ce qui donne :

$$s^2 = 0{,}41977;$$

de plus, $$v = 0{,}591.$$

Substituant dans l'équation précédente, nous en conclurons que la perte de charge est égale à 0,0018034.

Il faut y ajouter la portion de charge absorbée par les frottements contre la paroi du coude, afin de pouvoir la comparer avec la perte indiquée par l'instrument.

La longueur développée du coude était de $3^m,24$.

La valeur de cette portion de la perte de charge est donnée par la formule :

$$Q = c\sqrt{\frac{ZD^5}{\lambda}},$$

pour laquelle on a :

$$\lambda = 3^m,24 \quad \ldots\ldots \quad D = 0^m,25, \quad Q = 0{,}0290107125,$$

$$c = 20{,}205.$$

Substituant et effectuant les calculs, on trouve :

$$Z = 0{,}0068400.$$

La perte de la charge totale est donc :

$$0{,}0086434.$$

L'expérience nous a donné 0,012, ou un tiers en sus [1].

[1] Il y a dans cette expérience deux pertes de charge distinctes, dont le total trouvé par expérience est . . . . . $0^m,01200$

Celle due au parcours de la conduite, calculée par des formules reconnues exactes, est $0^m,00684$

Donc celle due au coude serait d'après l'expérience de M. Genieys. . . . . $0^m,00516$

Et d'après la formule de Dubuat. . . . . $0^m,0018$

Ce n'est donc pas d'un tiers en sus qu'est en erreur cette formule, ou de 33 pour 100, mais de 200 pour 100. Une formule qui, à l'inconvénient d'être excessivement compliquée, joint celui d'être aussi inexacte et de s'appliquer à des résultats aussi insignifiants, peut être mise de côté sans scrupule. J. D.

Digitized by Google

108. Les tuyaux qui servent à la conduite des eaux peuvent être faits : 1° en bois naturel ; 2° en bois courbé ; 3° en poterie ; 4° en pierre naturelle ; 5° en pierre artificielle ; 6° en plomb ; 7° en tôle de fer ; 8° en fonte de fer. Il s'agit de les comparer entre eux sous le double rapport de la résistance et de la dépense, en ayant égard, non-seulement aux efforts qu'ils ont à supporter, mais aux différentes causes de destruction, comme la rouille, l'humidité, le mode d'assemblage, etc.

109. Nous avons vu que l'équation qui sert à régler l'épaisseur des tuyaux a pour expression

$$eR' = Pr,$$

dans laquelle P indique la pression normale que la paroi éprouve rapportée à l'unité de surface, et R′ la plus grande tension que l'on veut faire supporter aux fibres sur cette unité superficielle.

110. La quantité R′ dépend de la matière dont le tuyau est formé, et elle doit être fixée de manière qu'en supposant que la paroi supporte la charge permanente qu'elle indique, sa constitution physique n'en soit pas altérée. Il existe peu d'expériences spéciales qui fassent connaître avec certitude, pour les différentes substances qui servent à former les tuyaux, la limite dont il s'agit. Nous allons réunir dans un tableau ce que nous avons pu recueillir de plus précis.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des SUBSTANCES.	POIDS par millimètre carré produisant la rupture.	POIDS supporté sans altération permanente.	EXTENSION que ce poids peut produire.	NOMS des auteurs des expériences.	OBSERVATIONS.
	kil.	kil.	kil.		
Chêne.....	6,00	0,60	0,0006	Navier.	
Id.....	»	2,78 [1]	0,0023	Tregold.	[1] Le résultat ne paraît pas applicable aux constructions qui doivent durer longtemps.
Pierre blanche, d'un grain fin et homogène.	0,144	»	»	Coulomb.	La rupture est instantanée et n'est point précédée par un changement produit par l'élasticité du corps.
Brique.....	0,187	»	»	*Id.*	
Id.....	0,193	»	»	Tregold.	
Mortiers bien faits, à sable quartzeux, et chaux éminemment hydraulique	0,096	»	»	Vicat.	
Mortiers bien faits, à sable quartzeux, et chaux hydraulique ordinaire.	0,060	»	»	*Id.*	
Mortiers bien faits, à sable quartzeux, et chaux communes, moyennes ou grasses.....	0,036	»	»	*Id.*	
Mortiers mal faits, communément au plus ...	0,015	»	»	*Id.*	
Mortiers de sable et tuileaux pilés avec chaux de Marly.....	0,0556 [2]	»	»	Rondelet.	[2] Un huitième du poids nécessaire pour produire l'écrasement.
Maçonnerie ordinaire ..	0,007	»	»		
Fer forgé	40,00	6,00 [3]	»	Navier.	[3] Ne comprenant que la charge permanente.
		10,00 [4]	0,0005	*Id.*	[4] Charge permanente et accidentelle.
		12,50	0,00071	Tregold.	*Id.*
		6,00	0,0003	Duleau.	
Fonte de fer.....	28,00	7,00	0,00064	Navier.	
		10,70	0,00083	Tregold.	
Plomb moulé.....	1,58	1,22	»	Jardine.	
	1,37	1,14	»	*Id.*	
	»	1,05	»	Tregold.	
Plomb laminé	1,35	0,79 [5]	»	Navier.	[5] Le plomb commence à s'étendre sous une charge qui est entre la moitié et les deux tiers de celle qui cause la rupture.
Tôle tirée dans le sens du laminage.....	40,80	13,60	»	*Id.*	Les pièces commencent à s'allonger sensiblement sous des poids égaux à la moitié ou aux deux tiers de ceux qui produisent la rupture.
Tôle tirée perpendiculairement au sens du laminage.....	36,40	12,13	»	*Id.*	
Vase sphérique en tôle de fer	46,50	»	»	*Id.*	
Cuivre rouge laminé ...	21,10	10,55	»	*Id.*	

Digitized by Google

111. Les notions présentées dans ce tableau font connaître d'une manière approximative les limites des efforts à faire, soit pour opérer la rupture des corps, soit pour en altérer la constitution physique. Mais elles ne suffisent pas pour mettre à même de régler les dimensions des pièces employées dans les travaux hydrauliques. Ce n'est pas assez, en effet, d'être assuré que les forces agissant sur chaque pièce n'en causeront point immédiatement la rupture, et même que l'action permanente ou fréquemment répétée de ces forces ne produira point des altérations qui puissent faire avec le temps des progrès, et en amener la destruction; on doit encore, autant qu'il est possible, déterminer les épaisseurs de tuyaux, de manière à prévenir les causes de dépérissement qui dépendent des actions chimiques des corps. Ainsi, l'humidité tend sans cesse à détruire les tuyaux de bois, la rouille attaque les tuyaux de fonte, les acides se combinent avec le plomb : de manière que si l'on ne leur donnait que les dimensions qui résultent de la solution directe des problèmes relatifs à la résistance des solides, on n'aurait pas encore assez fait pour la sécurité.

112. Les déterminations dont il s'agit ne sont pas susceptibles d'une aussi grande précision que celle dont on s'est occupé précédemment, et l'expérience n'a fourni que peu de résultats sur ce sujet.

Cependant, comme il est très-essentiel d'avoir une règle qui serve de guide dans les différentes circonstances, nous allons comparer les épaisseurs des tuyaux que la formule donne avec celles que l'on emploie ordinairement, et nous essayerons d'en conclure la valeur de la constante ou sur-épaisseur qu'il faudra ajouter pour chaque espèce de tuyau.

113. La pression normale qu'éprouve un tuyau de conduite varie à chaque point; mais, ainsi que nous l'avons fait observer, on lui suppose dans la pratique une valeur constante et assez forte pour que le tuyau puisse résister à l'action des forces vives produites par l'arrêt instantané de l'eau sur la conduite. A Paris, où la plus grande charge est de 15 à 20 mètres, on l'a faite égale à dix atmosphères, c'est-à-dire que chaque bout de tuyau est éprouvé, en sortant du moule, par le moyen d'une pompe foulante et d'une pression égale à une colonne d'eau de 100 mètres de hauteur. On met au rebut tout ce qui se trouve le moins du monde défectueux.

Dans cette supposition, P sera égal au poids d'une colonne d'eau de

Digitized by Google

100 mètres de hauteur et d'un millimètre carré de base, ou au poids de $0^{lit.},10$. Or, un litre d'eau pèse 1,000 grammes, d'où $P = 0^{kil.},10$.

L'équation de l'art. 109 devient, en substituant à la place de P, sa valeur :

$$e = \frac{0,10}{R'} r = \frac{0,05}{R'} d,$$

d étant le diamètre du tuyau.

114. En général, en représentant par n le nombre d'atmosphères sous lequel on veut faire l'essai, on aurait $P = n\ 0^{kil.},01$;

d'où $$e = 0,005 \frac{nd}{R'}.$$

La pression d'épreuve doit être au moins trois fois plus forte que celle qui sera produite par le poids habituel de l'eau renfermée dans la conduite.

115. R′ varie pour chaque substance, et le tableau précédent montre qu'on peut faire

Pour le bois.	R′=0,60,
Pour la pierre.	R′=0,10,
Pour le mortier.	R′=0,050,
Pour la maçonnerie ordinaire.	R =0,007,
Pour le plomb.	R =1,00,
Pour la tôle et le cuivre.	R =10,00,
Pour la fonte de fer.	R =7,00.

116. Substituant ces valeurs dans la formule, et faisant varier d, nous pourrons former le tableau suivant :

Digitized by Google

DÉSIGNATION des TUYAUX.	DIAMÈTRE.	ÉPAISSEUR de leur paroi, calculée d'après la formule.	ÉPAISSEUR ordinaire dans la pratique.	DIFFÉRENCES	OBSERVATIONS.
	m	m	m	m	
Tuyaux de bois.	0,108	0,0090	0,050	0,041	
	0,135	0,0112	»	»	
	0,162	0,0134	»	»	
	0,216	0,0179	»	»	
	0,25	0,0207	»	»	
	0,32	0,0266	0,0540	0,0274	En deux morceaux réunis par des cercles de fer.
	0,65	0,0540	0,054	»	Formé de douves consolidées par des cercles de fer.
Tuyaux de pierre naturelle.....	0,081	0,0405	0,0695	0,0290	
	0,108	0,0540	»	»	
	0,135	0,0675	»	»	
	0,216	0,1080	»	»	
Tuyaux Fleuret, en ciment....	0,054	0,0540	0,0800	0,0260	Tuyaux envoyés par Mme veuve Fleuret pour la conduite du marché Saint-Martin, à Paris. (Cette conduite n'a pas réussi.)
	0,081	0,0810	0,0950	0,0140	
	0,108	0,0180	0,1025	(—0,0050)	
	0,162	0,1620	0,1600	(—0,0020)	
	0,32	0,3200	0,4000	0,0800	Fleuret.
Tuyaux en plomb	0,027	0,0013	0,0068	0,0055	Tuyaux moulés, employés dans les travaux de distribution des eaux de Paris.
	0,041	0,0020	0,0090	0,0070	
	0,054	0,0027	0,0090	0,0063	
	0,068	0,0034	0,0123	0,0089	
	0,081	0,0041	0,0123	0,0082	
	0,108	0,0054	0,0123	0,0069	
	0,135	0,0067	0,0135	0,0068	
	0,162	0,0081	0,0135	0,0054	Tuyaux soudés, *idem*.
	0,216	0,0108	0,0135	0,0027	
	0,25	0,0125	0,0158	0,0033	
	0,32	0,0160	0,0158	(—0,0002)	
	0,65	0,0325	0,0350	0,0025	Tuyaux du parc de Versailles.
Tuyaux de tôle de fer	0,216	0,0011	0,002	0,0009	Tuyaux employés dans la distribution du gaz pour l'éclairage.
	0,32	0,0016	0,002	0,0004	
	0,80	0,0040	0,007	0,0030	Chaudières de machine à vapeur, à basse pression, mais pouvant être essayées à 10 mètres de pression.
	0,80	0,012	0,012	»	Chaudières de machine à vapeur, à haute pression, supportant un essai de trente atmosphères.
Tuyaux de fonte de fer.....	0,054	0,0004	0,0105	0,0101	Tuyaux employés dans les travaux de distribution des eaux de Paris.
	0,081	0,0006	0,0113	0,0107	
	0,108	0,0008	0,0123	0.0115	
	0,135	0,0010	0,0140	0,0130	
	0,162	0,0012	0,0150	0,0138	
	0,216	0,0015	0,0160	0,0145	
	0,25	0,0018	0,0170	0,0152	
	0,32	0,0023	0,018	0,0157	

117. Il nous reste à conclure de ces faits les règles que l'on doit suivre dans la détermination de l'épaisseur des tuyaux.

Les tuyaux de bois pourrissent facilement lorsqu'on les pose en terre; on trouve rarement des arbres sains et qui présentent une résistance uni-

Digitized by Google

forme, de manière qu'on ne doit en général employer ces tuyaux que pour des conduites isolées où l'eau n'éprouve pas une pression de plus de 2 atmosphères. Les conduites pour la distribution des eaux dans les différents quartiers de Londres et de Paris étaient autrefois toutes en bois. Mais lorsqu'on voulut établir des machines à vapeur et augmenter la pression, il se manifesta des fuites sur tous les points, et l'on fut obligé de les remplacer par des tuyaux de fonte. Il n'en existe plus aujourd'hui. La moindre épaisseur qu'on puisse leur donner paraît être de $0^m,027$, et l'on doit même regarder cette quantité comme la valeur de la constante, ce qui transforme l'équation de la résistance en

$$e = 0,833nd + 0,027.$$

Les tuyaux en pierre naturelle ou artificielle sont peu employés. Et comme il n'existe d'ailleurs à leur égard aucune cause particulière de destruction, on peut suivre avec confiance les résultats de la théorie, d'où

$e = 0,05nd$ pour la pierre naturelle;

$e = 0,10nd$ pour la pierre artificielle.

Les tuyaux en plomb éprouvent une altération sensible par l'action des acides, lorsqu'on les place, par exemple, dans des terres salpêtrées; s'ils forment une conduite où l'eau peut prendre une certaine vitesse, et produire des *coups* de *bélier* par la fermeture subite des robinets, il se manifeste assez souvent des *soufflures* qui diminuent l'épaisseur de la paroi, parce que le plomb est compressible, mais non pas élastique. La prudence exige qu'on adopte une sur-épaisseur de $0^m,0045$ (2 lignes); ce qui donne pour l'équation de la résistance

$$e = 0,005nd + 0,0045.$$

Les tuyaux de tôle ne s'emploient pas dans les travaux de distribution des eaux à cause de la difficulté de former les joints par des rivures à froid et de la dépense qui en résulterait [1]. On en fait des récipients et des chaudières, et on donne aux feuilles de tôle une sur-épaisseur de $0,^m003$ pour obvier à l'inconvénient de l'oxydation, d'où

$$e = 0,005nd + 0,003.$$

Les tuyaux de fonte de fer sont ceux dont on se sert de préférence, pour la facilité qu'on a, en les moulant, d'en faire varier le diamètre, et de leur donner une épaisseur capable de les faire résister aux plus fortes pres-

[1] Voir le n° 91 de la première partie.

Digitized by Google

sions. Ils s'oxydent comme la tôle : de plus, on obtient rarement de la fonte d'un grain parfaitement homogène, ce qui a déterminé à augmenter l'épaisseur d'un centimètre, quel que fût le diamètre des tuyaux.

Nous aurons donc

$$e = 0{,}0007nd + 0{,}01.$$

118. La force des tuyaux de fonte dépend beaucoup des procédés employés dans le moulage.

On est dans l'usage de placer le noyau horizontalement dans le moule : il en résulte : 1° que la matière fluide dérange le noyau et le soulève, d'où il arrive que le tuyau a moins d'épaisseur en dessus qu'en dessous, et qu'il est sujet à être ovale au lieu d'être rond ; 2° que les bulles d'air et les scories s'élèvent à la partie supérieure, et forment des crevasses qui affaiblissent beaucoup le tuyau.

On remédierait en partie à ces inconvénients en plaçant le noyau verticalement dans le moule ; mais les maîtres de forges ne veulent pas suivre ce procédé, parce qu'il exige plus de soins, et qu'il augmente un peu le prix de la main-d'œuvre. Aussi n'y a-t-il guère que les deux tiers de leurs tuyaux qui résistent à l'essai qu'on leur fait subir avant l'emploi.

La visite et l'essai des tuyaux ont pour but de faire rejeter ceux qui ont les défauts suivants :

1° Ceux dont l'épaisseur, au lieu d'être uniforme dans tout le pourtour, est plus faible d'un côté de $0^m,002$ qu'elle ne doit être.

2° Ceux dont le pourtour, soit intérieur, soit extérieur, est elliptique au lieu d'être rond, et dont la différence des deux diamètres excède $0^m,003$;

3° Ceux dans lesquels on reconnaît des chambres ou des soufflures qui tendent à diminuer la force de la fonte ;

4° Enfin, ceux qui, étant soumis à la charge d'une colonne d'eau de 100 mètres de hauteur, laissent échapper l'eau par de petits jets, ou même par des suintements.

Les vérifications relatives au poids et aux dimensions se font au moyen d'une balance, du mètre et du compas d'épaisseur.

On constate les chambres et les soufflures en frappant sur les tuyaux à petits coups de marteau.

La charge de 100 mètres de auteur d'eau s'obtient au moyen d'une pompe de pression.

Digitized by Google

Il ne faut pas s'en rapporter aux essais qu'on a pu faire des tuyaux dans la fonderie; du moins il est prudent de les renouveler au lieu de l'emploi avant de les mettre en place. L'expérience a prouvé que le cahot des voitures, sans précisément occasionner de fente, ou autre solution remarquable de continuité, agit sensiblement sur les parties les plus défectueuses du métal, au point que souvent il n'est plus possible d'en faire usage.

Autrefois on ne donnait que trois pieds de longueur aux tuyaux de fonte, mais aujourd'hui que l'on a perfectionné leur fabrication, on leur donne de 2 mètres à $2^m,70$, afin de ne pas trop multiplier les joints.

119. Les tuyaux en bois naturel se forment de corps d'arbres forés. Les dimensions ordinaires pour les tuyaux de chêne, d'aulne et d'orme, varient, pour la longueur, de 4 à 5 mètres, et, pour le diamètre intérieur, de 10 à 20 centimètres.

Il y a deux modes d'assemblage. Le premier, généralement employé, a lieu par emboîture et frettes; on obtient le second au moyen d'une virole en fer, qui pénètre à mi-bois dans les tuyaux.

Le premier assemblage consiste à agrandir le diamètre intérieur du tuyau *a* en forme de cône (pl. IX, fig. 1), et à diminuer le diamètre extérieur du tuyau *b*, également en forme de cône, pour le faire entrer dans celui *a*. On consolide le tuyau *a* par une frette *c*, en même temps qu'on calfate les joints des deux cônes avec de la filasse goudronnée.

Le second assemblage s'opère en introduisant dans les tuyaux *a* et *b* (fig. 2) une virole en fer *d*, d'un diamètre moyen entre celui intérieur et celui extérieur du tuyau.

La figure 4 représente la virole ou bague *d* dans son état primitif en plan et en coupe, et la figure 5 la fait voir toute préparée. Pour l'exécuter, l'anneau (fig. 4) étant sur la bigorne (enclume), on commence, au moyen d'un marteau à rainure, sur lequel on frappe, à former tout autour et au milieu la saillie *e* (fig. 5); on continue en amincissant en forme de cône le surplus de l'anneau, de façon que les bords deviennent tranchants.

La saillie ou languette *e* sert à régler la pénétration dans chaque tuyau : pour enfoncer plus facilement cette virole dans l'un et l'autre tuyau, on mouille les joints, où l'on pratique une rainure de même diamètre. On termine le joint en le calfatant comme dans la figure 2.

Digitized by Google

On assemble aussi les tuyaux de bois par emboîture cylindrique à mi-bois; fig. 3.

Lorsque le diamètre des tuyaux dépasse 20 centimètres, on les fait en deux morceaux; et, pour rendre les joints longitudinaux étanches, on met dans l'épaisseur du bois une espèce de clef en mastic d'huile de lin, d'étoupe hachée et de chaux éteinte à l'air. Les deux pièces sont de plus liées entre elles par des cercles de fer, dont la force et le nombre varient en raison de la pression.

Pour les diamètres supérieurs à 32 centimètres, on emploie des *douves* que l'on réunit de la même manière.

120. On a fait des essais pour construire des tuyaux d'un grand diamètre avec des *madriers courbés* sur leur longueur, à l'aide de la vapeur. Chaque madrier forme un anneau. Pour réunir et maintenir cet anneau, une bague ou virole, semblable à celle fig. 5, pénètre de 25 millimètres dans la rainure qui a été tracée avant la courbure sur le milieu de chaque rive du madrier. Les joints bien calfatés, après cette opération, ont parfaitement réussi.

La plus grande largeur de madrier qu'on puisse employer est de $0^m,325$, parce qu'on se sert seulement du cœur du bois. Un tuyau de cette espèce peut être soumis à une pression de trois atmosphères. Il est relativement plus léger que les autres tuyaux en bois, et moins sujet à pourrir.

121. Les tuyaux en *poterie* dont on se sert ordinairement n'ont que 10 centimètres de diamètre et 80 centimètres de longueur; ils s'assemblent à emboîture, et le joint doit être enveloppé de filasse goudronnée ou de bon ciment. Lorsque les tuyaux sont soumis à une pression de plus d'une demi-atmosphère, il est nécessaire d'envelopper le tuyau (qui n'est, pour ainsi dire, que l'enduit intérieur de la conduite) d'une maçonnerie qui fasse résistance à la pression, quelle qu'elle soit : tout diamètre de poterie peut servir dans ce cas.

122. Lors du projet d'amener les eaux de l'Yvette à Paris, M. Molard avait proposé de construire des tuyaux en *pierre forée*, de 4 mètres de longueur sur 22 centimètres carrés et 8 centimètres de diamètre intérieur. Le forage qu'il indiquait devait se faire de bas en haut, au moyen de l'aiguille de mineur : de cette manière, le *machon* (ou éclats de pierre) tombait de suite.

Digitized by Google

En opérant le forage de haut en bas, il avait imaginé, pour retirer le *machon*, de descendre au fond du tuyau creusé un vase portant sur trois pieds, et dans lequel retombait la pierre en poussière, en soufflant autour et au-dessous du vase percé dans son milieu pour le passage du soufflet.

La jonction de deux tuyaux se serait faite dans l'intérieur d'une forte borne scellée, le pourtour des tuyaux à leur entrée dans la borne étant garni de ciment.

Cet assemblage présente l'avantage de donner des points d'appui solides aux tuyaux, surtout à l'endroit des joints, et de suivre les sinuosités ou inclinaisons du terrain. Il existe d'ailleurs peu de conduites en pierre naturelle.

123. Fleuret, dans son ouvrage sur les ciments et la pierre artificielle, donne les moyens pour établir des tuyaux soit continus et faits sur place, soit par parties, fabriqués d'avance (voy. fig. 6, 7 et 8).

Les conduites faites sur place sont établies de deux manières, soit en formant le passage de l'eau au centre du ciment avec un noyau cylindrique du diamètre donné, soit, après avoir établi le fond et les côtés en ciment, en recouvrant le dessus de grandes dalles, tuiles, etc., recouvertes, en outre, d'une couche de ciment (voy. le plan, fig. 7, et les coupes *abc*, fig. 8).

Ceux fabriqués d'avance sont moulés et portent une emboîture à ressaut, que l'on scelle facilement avec le même ciment.

Le plus fort diamètre pour conduite qu'ait exécuté Fleuret est de trois pouces ($0^m,081^{mil.}$); il a fait confectionner des pompes de différents diamètres, où quelques parties de tuyaux portaient $0^m,30^c$ environ.

Deux maçons et trois manœuvres peuvent préparer le mortier ou ciment, mouler et terminer vingt-quatre tuyaux de $0^m,14^c$ carrés sur $0^m,054$ de diamètre intérieur, et de $1^m,15$ de longueur dans une journée.

Le mètre courant pèse 75 livres; le poids du mètre cube est de 3,240 livres, ou 1,620 kilogrammes.

Le mortier ou ciment composé par Fleuret est un mélange de trois parties de sable et une partie de tuileaux pilés, avec deux parties de chaux ou un tiers de chaux. Ce mortier, auquel on ajoute une légère quantité de chaux fusée, pour le corroyer de nouveau, ne doit son excellente qualité qu'aux soins que l'on apporte à le bien corroyer avec un

Digitized by Google

pilon dans une auge qui contient 3 pieds cubes, et à l'extinction de la chaux.

Il existe de grandes parties de conduites en pierre factice construites par Fleuret dans les départements de la Meurthe et de la Moselle.

124. Les tuyaux dont se composent les conduites de plomb peuvent être *étirés, moulés* ou *soudés de long*.

Les tuyaux étirés ou moulés ont ordinairement 3^{m},8981 (12 pieds) de longueur, et le diamètre peut varier depuis 1 jusqu'à 4 pouces. Lorsque le diamètre doit être plus grand, on se sert de tables de plomb que l'on roule, et dont on réunit les bords par un joint longitudinal en *soudure* ou alliage composé de deux parties de plomb et d'une partie d'étain.

Pour employer la soudure, les plombiers la versent sur l'endroit à souder avec une cuiller en fer, lorsque cet endroit est bien avivé, l'y retiennent avec une poignée faite en lisière de drap, et l'étendent avec un fer chaud enduit de poix résine pour que cette poignée ne s'y attache point et que la matière coule mieux : la jonction terminée, ce fer sert de même à parer et à unir le métal, et à enlever la matière excédante.

Les tuyaux de plomb se réunissent par emboîtement, mais sans renflement, et sans laisser de vide entre les deux bouts qui se pénètrent. On les enveloppe de *soudure*, pour empêcher les fuites.

On peut aussi les réunir par un procédé qui consiste à faire un rebord à chaque tuyau, à placer dans le joint un cuir gras, et à comprimer les rebords au moyen de brides en fer à oreilles placées derrière.

125. Les récipients du gaz portatif et divers tuyaux employés dans les gazomètres sont en *tôle*. La forme des récipients est un cylindre d'une seule feuille de tôle brasée au feu, terminée par deux calottes sphériques en fer forgé de 5 millimètres. La tôle n'a que 2 millimètres d'épaisseur, et supporte une pression de soixante atmosphères à l'épreuve, et de trente atmosphères seulement pour le service journalier ; le diamètre du cylindre est de 0^{m},525. Les autres tuyaux peuvent être employés de toute longueur, et sont formés de feuilles de tôle de 2 millimètres d'épaisseur, 1^{m},62 de longueur, et 0^{m}21 de diamètre. Les joints longitudinaux et ceux bout à bout ou transversaux sont à recouvrement, maintenus par des clous rivés très-rapprochés, avec une bande de carton frite dans l'huile sous le recouvrement. Ces tuyaux sont essayés à l'eau avant d'y introduire le gaz, et la pression est d'une atmosphère.

Digitized by Google

126. Les tuyaux en fonte de fer s'obtiennent par le moulage comme les tuyaux de plomb. On les réunit par des joints à brides ou par des joints à emboîtements.

Dans le premier cas [1], chaque tuyau porte à ses extrémités une bride en retour d'équerre, qui saillit sur le corps du tuyau et est percée de plusieurs trous. On pose les tuyaux bout à bout, et on les place de manière que les trous des brides de deux tuyaux contigus se raccordent les uns aux autres. On garnit l'intervalle entre les deux brides d'une rondelle en plomb, à laquelle une rondelle en cuir est attachée de chaque côté. Enfin, on serre le joint au moyen de boulons qui entrent dans les trous dont les brides des tuyaux sont percées.

Dans le second cas, les tuyaux sont unis par un emboîtement de cylindre. Pour cela, on termine un bout de chaque tuyau par un renflement dans lequel emboîte le petit bout du tuyau suivant.

L'intervalle qui les sépare, ou le vide compris entre la surface extérieure du tuyau mâle et la surface intérieure du tuyau femelle, est rempli de filasse ou de corde goudronnée sur la moitié de la longueur du joint *gg*. On lute ensuite avec de la terre glaise le tour de l'ouverture laissée entre les deux bouts; on pratique un trou dans la partie supérieure du lut, puis on y fait couler du plomb fondu, qui remplit tout l'espace *hh* resté vide; on enlève la terre et on comprime fortement à coups de marteau l'anneau de plomb coulé.

La profondeur de l'emboîtement varie entre 16 et 9 centimètres, depuis les plus grandes dimensions jusqu'aux plus petites.

127. Un bon mode d'assemblage est ce qu'il y a de plus essentiel dans l'établissement d'une conduite, parce que c'est surtout dans les joints que se manifestent les fuites et toutes les causes de dégradation.

Lorsqu'une conduite est posée sur un sol mobile, comme l'est celui de Paris, il est nécessaire qu'elle soit flexible, afin qu'elle puisse céder aux mouvements du terrain. Lorsqu'elle est en fonte, il faut en outre que les tuyaux dont elle est formée puissent s'allonger et se raccourcir suivant que la chaleur augmente ou diminue.

Si des tuyaux étaient ajustés sur une grande longueur, sans que leurs bouts pussent se mouvoir librement, ils se briseraient. C'est ce que l'ex-

[1] Voir les planches de la première partie, pour tout ce qui est relatif à l'assemblage des tuyaux de fonte. J. D.

Digitized by Google

périence avait appris avant que l'on eût trouvé la loi de la dilatation des corps par les variations de la température. Mais elle n'avait pas pu donner la mesure de la force qui produit ces changements, ni indiquer la manière dont elle exerce son action.

Si une conduite était posée sur une surface plane, et qu'aucune de ses parties ne fût intimement liée avec les parties fixes du plan sur lequel elle reposerait, il est évident que, quel que fût le mode d'assemblage des joints des tuyaux, il ne s'opérerait aucune rupture, puisque la conduite entière pourrait se mouvoir librement.

Si les deux extrémités de la conduite étaient fixes, il n'en serait pas de même. Alors, si la température augmente, la conduite prenant plus de longueur tendra à repousser les deux obstacles fixes; si la température diminue, au contraire, elle tendra à les rapprocher. Dans cette dernière supposition, l'effort se reporte sur les assemblages des tuyaux, et si ces assemblages sont tels que les bouts ne puissent se prêter à aucun mouvement, comme dans le cas où ce sont des brides réunies avec des boulons, la force qui se développe dans le sens de la longueur peut bien n'être pas assez forte pour séparer les parties de la fonte, et opérer cependant la rupture des brides et des boulons.

Dans la pratique, non-seulement les extrémités d'une conduite sont fixes, mais il se trouve encore sur la longueur un certain nombre de points qui se prêtent plus ou moins difficilement au mouvement général, comme aux inflexions dans le sens vertical, aux changements brusques de direction, dans les traversées des murs des regards, des égouts, des galeries, etc., de manière que l'action n'est pas uniforme, et qu'il y a des parties plus ou moins tendues.

Pour obvier à cet inconvénient, on imagina, lorsqu'on ne connaissait d'autre moyen de réunir les tuyaux que d'une manière fixe avec brides et boulons, de placer de distance en distance, des tuyaux *compensateurs* composés de deux parties qui s'emboîtaient l'une dans l'autre, et qui qui étaient ajustées de telle sorte, que le champ de la compensation pût s'étendre plus ou moins.

La dilatation linéaire de la fonte, pour un intervalle de 100 degrés du thermomètre centigrade, est de 0,00111. On peut supposer que cette dilatation se fait proportionnellement à la température, dans les limites que nous considérons, et estimer à vingt-quatre degrés la plus grande différence

Digitized by Google

de température des conduites posées dans des galeries souterraines, ce qui donne un allongement de $0^m,02664$ sur une longueur de 100 mètres.

En plaçant, par conséquent, les compensateurs à cette distance les uns des autres, il faudrait que leur jeu eût une étendue de 3 centimètres au moins, dans l'hypothèse où les effets de la dilatation et de la condensation se manifesteraient également sur toute la longeur de la conduite. Si chaque tuyau remplissait cette fonction, le jeu ne serait que d'un millimètre environ. C'est ce qui a déterminé les Anglais à unir par un emboîtement de cylindres les grandes lignes de tuyaux qu'ils emploient pour conduire les eaux de leurs villes. On termine, ainsi que nous l'avons décrit, un bout de chaque portion de tuyau par un cylindre plus large que le corps du tuyau. Dans cette partie plus large s'emboîte le petit bout du tuyau suivant. L'emboîtement est tel, que les deux tuyaux peuvent un peu glisser l'un dans l'autre, malgré la soudure qui les unit, et se prêter de la sorte, soit aux allongements, soit aux raccourcissements produits par les variations de température. On a fini par adopter, en France, ce mode d'assemblage et par renoncer aux compensateurs, qui d'ailleurs ne sont applicables qu'aux conduites en plein air, comme à Marly, ou à celles placées dans des galeries. Si, d'un côté, ce mode d'assemblage présente des difficultés lorsqu'il s'agit de remplacer un tuyau, ces difficultés sont plus que compensées par ses autres avantages.

128. La garniture des joints doit être élastique, afin de les rendre constamment étanches, en se prêtant aux inflexions de la conduite. On la fait ordinairement avec de la corde humidifuge goudronnée et du plomb fondu. La corde se place dans le fond du joint, et n'a pour but que d'empêcher le plomb de couler dans le corps du tuyau au moment où on le verse. C'est sur ce métal que l'on compte uniquement pour assurer la stabilité du joint.

Le plomb se prête bien, par sa ductilité, aux inflexions de la conduite, mais comme il est dépourvu d'élasticité, toutes les fois qu'il éprouve une compression sur une des faces du joint, il en résulte une ouverture du côté opposé. Un nouveau matage devient alors nécessaire à chaque mouvement de la conduite, pour ramener le joint dans son état primitif et empêcher les fuites d'eau. Cet inconvénient se fait surtout sentir à Paris, dont le pavé des rues est généralement établi sur des remblais et des

Digitized by Google

terres rapportées. On a proposé, pour le diminuer, de poser les tuyaux sur des appuis solides, formés de maçonnerie, dont la résistance prévienne autant que possible les inflexions de la conduite qui entraîneraient la rupture, ou dans des galeries voûtées construites sous ces rues; mais nous verrons plus loin que ce mode de pose entraînerait dans des dépenses considérables ou dans des inconvénients tout aussi graves que ceux que l'on veut éviter. Aussi pensons-nous que l'on doit plutôt changer la garniture des joints.

M. Gueymard, ingénieur des mines, qui a fait établir des conduites d'eau à Grenoble, a employé un mastic connu depuis quelques années sous le nom d'aquin. Il se forme en mélangeant 98 parties de limaille de fonte passée au gros tamis, non oxydée, avec une partie de fleurs de soufre. Lorsque ce mélange est intime, on prend une partie de sel ammoniac gris du commerce, que l'on fait dissoudre dans l'eau bouillante; on verse cette dissolution sur le mélange précédent, et l'on brasse fortement. La quantité d'eau doit être calculée de manière que le mélange de limaille de fonte et de fleurs de soufre prenne la consistance du mortier ordinaire.

Ce mastic dégage une grande quantité de calorique et d'ammoniaque et doit être employé de suite. Il ne faut le préparer qu'au fur et à mesure de l'emploi. On l'introduit dans les joints, on l'enfonce avec des bourroirs en fer, et on frappe avec des massettes en bois. On laisse sécher le mastic pendant deux ou trois jours au grand air pendant l'été, et sept à huit jours pendant l'hiver. On peut ensuite recouvrir les tuyaux et être assuré de leur solidité. Ce mastic prend au moins la dureté et la compacité de la bonne fonte [1].

Le mastic d'aquin n'est point élastique et ne se prête pas aux mouvements de la conduite produits, soit par les variations de température, soit par les tassements du terrain; ce qui a déterminé M. Gueymard à assembler avec le plomb et la corde goudronnée un assez grand nombre de joints, pour que les allongements ou les raccourcissements ne fussent pas de plus d'un millimètre. Nous croyons, d'après cela, que ce mastic ne doit pas être d'un bon usage dans la pratique.

[1] *Mémoire sur la conduite des eaux dans des tuyaux métalliques de forme cylindrique*, par E. Gueymard, ingénieur au corps royal des mines, professeur d'histoire naturelle à la Faculté des sciences de Grenoble.

Digitized by Google

M. Frimot m'a indiqué la composition d'un mastic dont il s'est servi avec avantage dans l'assemblage des colonnes montantes de ses pompes, qui est inaltérable à l'eau, et reste élastique quoiqu'en prenant une grande consistance. Il se forme en mélangeant de l'huile de lin, de l'étoupe hachée et de la chaux éteinte à l'air. Il faut l'employer à la consistance du mastic de vitrier.

129. La seule objection que l'on fait ordinairement contre les tuyaux à emboîtement est fondée sur l'embarras de changer une pièce cassée; mais on peut le prévenir en plaçant de distance en distance des manchons en fonte qu'on fait glisser à droite et à gauche lorsqu'on veut relever ou simplement faire des réparations à la portion de conduite comprise entre deux manchons. Il suffit de les espacer de 100 mètres sur les grosses conduites, et de 50 sur les petites.

On peut employer le même moyen pour réparer un tuyau cassé, sans démonter la conduite. Il suffit pour cela de poser un manchon en plomb laminé contre la fonte sur place. On serre ensuite fortement le plomb contre la fonte avec deux cercles en fer à vis, et on rive les extrémités. Le manchon pourrait également être en fonte, en le composant de deux pièces assemblées avec des vices et des écrous. Par l'un ou l'autre de ces moyens, on répare un tuyau cassé dans moins de trois heures.

130. Il y a plusieurs manières de poser les conduites, qui ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

1° Sous des galeries voûtées.

On les place, dans ce cas, sur des massifs en maçonnerie fondés solidement. Elles n'ont à supporter d'autres charges que leur propre poids et celui de l'eau qu'elles contiennent. Enfin, on peut les visiter à toute heure, dans toute leur étendue, et réparer sans recherches inutiles les accidents qui peuvent survenir.

Mais la dépense que ce système entraîne est si considérable, qu'on ne peut l'adopter que pour les artères principales, et dans les cas fort rares où le niveau supérieur du terrain que l'on veut traverser est plus élevé que celui de la prise d'eau; dans ce dernier cas, une galerie voûtée est indispensable, parce que, sans cela, on n'aurait aucun moyen de reconnaître les fuites.

2° Sous d'anciens égouts,

Digitized by Google

On ne prend ce parti que pour diminuer la dépense; et l'avantage qui en résulte s'achète par une foule d'inconvénients. La pose et la visite des conduites deviennent plus difficiles. Les ouvriers sont exposés à être asphyxiés. On ne peut pas multiplier les robinets, parce qu'ils seraient constamment recouverts par les matières que l'eau de l'égout entraîne et que leur manœuvre ne saurait se faire sans inconvénients.

D'après ce système, les conduites sont posées sur des consoles en pierre encastrées dans les murs latéraux, ou supportées par des chevalets en fonte scellés dans le dallage de ces égouts [1], et appliqués le plus près possible le long de leurs pieds-droits.

3° Dans de petites rigoles de maçonnerie établies sous le pavé des rues et recouvertes d'un madrier.

Les mêmes motifs qui exigent que les conduites principales soient placées dans des galeries spacieuses, semblent exiger aussi que l'on isole les tuyaux de branchement destinés à alimenter les bouches de lavage et les concessions particulières. Mais on ne satisfait, par ce moyen, qu'à la condition d'asseoir la conduite sur un sol affermi. La recherche des fuites devient aussi longue que dispendieuse, parce que l'eau peut couler dans le fond de la rigole sans se faire jour jusqu'à la superficie du pavé, et sans donner lieu à un enfoncement qui fasse reconnaître le point fixe où la perte d'eau a lieu.

La conduite de la rue de Bondy, posée d'après ce système, nous en offre un exemple. On ne peut reconnaître les fuites que par les infiltrations qui se forment dans un jardin situé à 80 mètres environ de distance de la rue. Il est même à remarquer que le sol de ce jardin est à 9 ou 10 mètres au-dessous du sol de la rue de Bondy, tandis que les caves des maisons qui la bordent ont leur sol à 3 ou 4 mètres au-dessous de celui de cette rue, et n'ont cependant éprouvé aucune infiltration : ce qui semble démontrer qu'il existe, sur quelque point de la rue de Bondy, une espèce de puisard ou d'entonnoir où les eaux des fuites ont pu s'écouler et se rendre, en passant au-dessous du sol des caves, dans le jardin dont nous avons parlé.

Cette circonstance nous a déterminé à supprimer successivement la ri-

[1] On se sert maintenant à Paris de consoles en fonte; voir la première partie. J. D.

Digitized by Google

gole en brique dans les parties où l'on était forcé de découvrir la conduite pour y faire des réparations.

4° Enfin, en pleine terre, sous le pavé des rues.

Ce moyen est généralement adopté comme le plus simple et le plus économique. Les conduites participent moins aux variations de température. La moindre fuite donne lieu à un enfoncement de pavé qui, indiquant bientôt le mal, en rend la réparation prompte et facile. On peut multiplier sans difficulté les branchements : aussi ce procédé se prête t-il essentiellement à une distribution à domicile.

On place les conduites à un mètre de profondeur, pour les soustraire à l'effet de la gelée et aux vibrations produites par le mouvement des voitures. L'effet qui résulte de ces vibrations peut être très-considérable. C'est ainsi que l'on a remarqué que lorsque des conduites se trouvent placées dans des lieux qui servent de chantiers de pierre, comme on en rencontre beaucoup sur les boulevards, les fuites sont beaucoup plus fréquentes, et les frais d'entretien plus considérables.

131. Il ne faut pas combler la tranchée, lorsqu'on pose une conduite, avant de s'être assuré de l'état des joints. Pour cela, on bouche l'orifice de sortie, puis on laisse arriver l'eau pour faire supporter aux joints la pression due à la hauteur du réservoir supérieur, et on examine si les joints perdent.

132. Pour montrer la différence entre les prix d'établissement d'une conduite, suivant que l'on adopte l'un ou l'autre système de pose, nous allons présenter un résumé des dépenses faites, par mètre courant, pour une conduite de $0^m,25^c$ de diamètre.

Dans terre.	69f	»
Dans une rigole..	75	»
Dans un égout.	77	»
Dans une galerie pouvant contenir quatre conduites . . .	182	»
Dans une galerie ne contenant qu'une conduite	318	»

Si l'on fait abstraction de ce qui est commun à tous les systèmes, c'est-à-dire de la fourniture des tuyaux et de leur pose, ce qui comprend l'essai, le transport, le bardage et la mise en place, le chanvre goudronné, le plomb fondu, les façon, épreuve et garantie des joints, nous aurons le rapport suivant entre les dépenses qui s'appliquent aux parties qui constituent essentiellement la différence entre les systèmes.

Digitized by Google

Dans terre.	7	55
Dans une rigole.	13	40
Dans un égout.	15	47
Dans une galerie pouvant contenir quatre conduites. . . .	120	84
Dans une galerie ne contenant qu'une seule conduite. . .	257	»

On voit qu'en prenant pour terme de comparaison ou d'unité les frais d'établissement d'une conduite posée dans terre, le deuxième et le troisième système doublent la dépense, le quatrième la rend seize fois plus grande, et le cinquième trente-quatre fois. Il n'y a donc pas à hésiter entre le choix que l'on doit faire, surtout si l'on considère que d'après le premier système les réparations d'entretien sont tout aussi faciles et aussi économiques.

133. Lorsque les conduites présentent des inflexions dans le sens vertical, l'air qui y est contenu à l'instant où on les met en charge se porte au sommet de ces inflexions ; et si le volume de cet air est assez considérable, il peut arriver qu'il occupe toute la capacité de la conduite, et s'y trouve comprimé de manière que la pression due à la charge d'eau ne soit pas assez forte pour surmonter la force d'élasticité de l'air; alors l'écoulement est suspendu. En général, la présence de l'air dans une conduite gêne le mouvement de l'eau et diminue le produit de l'écoulement ; il est donc important d'avoir un moyen de le faire sortir.

134. L'on emploie en Italie les constructions dites *sfiatatore,* qui ne sont autre chose que des espèces de cheminées placées sur le sommet des inflexions, et dont l'extrémité supérieure s'élève jusqu'au niveau de la source.

Ce moyen, tout simple qu'il est, présente de si grands embarras, surtout dans l'intérieur d'une ville, lorsque les sinuosités se multiplient et que le réservoir de prise d'eau est très-élevé par rapport au coude de la conduite qu'il s'agit d'évacuer, qu'il a reçu peu d'application.

135. On se sert, à Paris, ou d'un robinet qu'on laisse ouvert pendant que l'on met l'eau dans la conduite, jusqu'à ce que l'air se soit échappé et que l'eau commence à jaillir ; ou d'une soupape tellement disposée qu'elle puisse laisser l'air s'échapper librement, et se fermer d'elle-même lorsque l'eau vient prendre sa place et remplir la capacité du tuyau.

136. Voici la description que M. Girard a donnée de cette dernière espèce de ventouse, dont l'idée est due à M. le chevalier de Bettancourt [1].

[1] *Recherches sur les eaux publiques de Paris*, page 168; *Description générale des différents*

Digitized by Google

Elle est composée d'un vase cylindrique en fonte de cuivre de 20 centimètres de diamètre extérieur et de 35 centimètres de hauteur, communiquant avec le tuyau de conduite par un cylindre vertical de 10 centimètres de diamètre, boulonné sur une tubulure.

Ce vase porte intérieurement deux traverses percées chacune d'un trou dans lequel coule librement une tige de métal formant l'axe matériel d'un globe creux de laiton destiné à servir de flotteur.

Cet axe du flotteur est terminé à son extrémité supérieure par une portion de cône, laquelle sert d'obturateur à un orifice de même forme pratiqué dans le fond horizontal du vase cylindrique ou boîte de la ventouse, lorsque le flotteur y est soutenu par l'action de l'eau dont elle est remplie.

Lorsque l'air de la conduite a pénétré dans la boîte de la ventouse, et y a acquis assez de densité pour faire descendre convenablement le niveau de l'eau, le flotteur s'abaisse avec le fluide, entraîne l'obturateur que porte son axe, et laisse ouvert l'orifice de la ventouse par lequel l'air qu'elle contient s'échappe graduellement.

137. L'eau pesant sous le même volume, à + 4° et à 0m,76, 770 fois plus que l'air, il s'ensuit que, quelle que soit la densité de l'air dans la ventouse, elle ne peut jamais être telle que le poids du volume déplacé par le globe soit égal à celui d'un même volume du liquide ; par conséquent, si le niveau de l'eau baisse, et qu'une partie du globe surnage, le poids du flotteur augmente, ce qui détermine son abaissement et l'ouverture de la soupape supérieure.

Il n'y a que l'action de l'air comprimé contre la partie inférieure de l'obturateur qui s'oppose à ce mouvement, mais elle est trop faible pour pouvoir détruire l'effet dû à l'abaissement du niveau de l'eau.

Ce moyen de se débarrasser de l'air a l'avantage de n'exiger aucune surveillance.

La dépense pour une ventouse est de 325 francs.

138. Il est probable qu'on a senti depuis longtemps qu'il ne suffisait pas, pour que l'eau coulât dans une conduite, que l'orifice d'arrivée fût plus bas que l'orifice du départ ; mais on n'en a trouvé la véritable expli-

ouvrages à exécuter pour la distribution des eaux du canal de l'Ourcq dans l'intérieur de Paris, page 125. — (Voir, dans la première partie, le dessin de la ventouse aujourd'hui en usage dans la distribution des eaux de Paris. J. D.)

Digitized by Google

cation que longtemps après la découverte de la pesanteur de l'air. M. Couplet est, je crois, le premier qui, dans un mémoire sur le mouvement des eaux, publié en 1732, ait montré que, dans les conduites qui ont des pentes et des contre-pentes, l'air se réunit dans les parties supérieures, diminue le produit de l'écoulement, et peut, dans certaines circonstances, l'intercepter entièrement. Voici ce qu'on lit dans l'histoire de l'Académie des sciences :

« M. Couplet a vu qu'en lâchant l'eau à l'embouchure d'une conduite, « il se passait près de dix jours avant qu'il en parût une goutte à son bout « de sortie. Dans la conduite des eaux qui vont à Versailles, on remédia « à cet inconvénient en mettant aux angles les plus élevés des *ventouses*. « Après cela, l'eau venait au bout de douze heures, précédée de bouffées « de vent, de flocons d'air et d'eau, de filets d'eau interrompus, et tout « cela prenait presque la moitié des douze heures d'attente. »

139. Cette remarque, quoique très-importante, frappa peu les esprits, et M. de Parcieux pensa qu'un mémoire plus détaillé sur cet objet pourrait être utile. Il le publia en 1750.

L'auteur y montre comment l'air peut se disposer avec l'eau dans une conduite; dans quels cas la présence de cet air intercepte l'écoulement de l'eau, ou en gêne simplement le mouvement : il y combat l'opinion que l'air contenu dans une conduite n'a pour résultat que d'augmenter la pression dans les parties où il est renfermé, et qu'on peut suppléer aux ventouses en donnant plus d'épaisseur aux parois des tuyaux dans les inflexions, ou en augmentant la charge motrice, etc.

DÉGORGEMENT.

140. Les eaux d'une conduite peuvent être versées dans un réservoir pour y rester en réserve, ou servir à de nouvelles distributions.

Elles peuvent alimenter des fontaines monumentales pour l'embellissement des places et des promenades;

Ou des bornes-fontaines pour le lavage des rues et des égouts.

Enfin elles peuvent être recueillies dans l'intérieur d'une maison pour servir à l'usage de ses habitants.

141. Les grands réservoirs se font ordinairement en maçonnerie à bain de mortier, avec tant de soin, qu'il en résulte des pièces imperméables à l'eau, comme le marbre ou la terre cuite.

Digitized by Google

Après avoir donné aux murs les dimensions convenables pour résister aux efforts qu'ils doivent supporter, on recouvre les parements qui doivent être mouillés par un enduit formé de plusieurs couches. La première se pose immédiatement sur le parement en moellon ou en briques du mur, après avoir bien nettoyé les joints et arrosé la superficie pour donner plus de prise au mortier. Cette couche, que l'on appelle *crépi*, se fait avec du mortier de chaux hydraulique, bien broyé, un peu plus gras que pour la maçonnerie ordinaire, c'est-à-dire qu'on y met plus de chaux. Elle se jette sur le mur avec la truelle ; on l'étend en ôtant le superflu avec le tranchant, pour le rejeter où il en manque, ce qui produit une surface extrêmement rude.

Lorsque le crépi est bien sec, on applique la seconde couche, qu'on appelle proprement *enduit*. Elle se fait avec un mortier plus maigre que le précédent, c'est-à-dire qu'on y ajoute du sable. On étend cette seconde couche avec le dos de la truelle, en l'unissant le plus qu'on peut.

Il faut effacer tous les angles rentrants, par des arrondissements de 15 centimètres au moins de rayon ; donner au fond une pente générale vers la décharge ; n'appliquer les enduits que sur des constructions bien sèches qui aient éprouvé tous les effets dont elles étaient susceptibles ; prendre surtout un soin particulier de bien lisser la dernière couche pour en rendre la superficie extrêmement dure et imperméable à l'eau.

142. Pour donner encore plus de consistance aux enduits, les garantir des impressions de l'air et de l'eau, les soustraire aux effets de la gelée, on devrait les recouvrir, suivant le procédé de MM. Darcet et Thénard, d'un mastic composé d'une partie d'huile de lin cuite avec 1/10 de son poids de litharge et de deux parties de résine. On commence par sécher les murs avec le fourneau de doreur, et l'on applique ensuite le mastic en fusion parfaite par couches successives jusqu'à ce que l'enduit refuse de s'en imprégner. Il pénètre ordinairement de 3 à 4 millimètres.

Ce mastic de résine et d'huile peut s'appliquer sur le plâtre, comme sur la pierre et le mortier, le durcir, le conserver, et lui donner la faculté de résister à l'eau.

Ce procédé pourrait être employé avec économie pour les réservoirs des particuliers que l'on fait ordinairement en bois recouvert d'une lame de plomb.

Digitized by Google

143. Le réservoir que l'on a construit dans la rue Saint-Victor, sur l'axe de la Halle aux vins, peut être cité comme un modèle [1] (pl. X). Il est composé de deux parties : l'une rectangulaire, qu'on appelle le réservoir de l'Entrepôt, a 32 mètres 75 centimètres de largeur sur 22 mètres 25 centimètres de longueur ; l'autre, composée d'un rectangle et d'un demi-cercle, qu'on appelle le réservoir de service public, a la même largeur que le premier, et 16 mètres 25 centimètres de longueur : le demi-cercle placé au milieu de la largeur a 11 mètres 125 millimètres de rayon. La profondeur des deux réservoirs est de 4 mètres, et ils peuvent contenir ensemble 5,821 hectolitres.

L'épaisseur des murs est 1 mètre 75 centimètres à la base, réduite à 1 mètre au sommet ; ils sont construits en maçonnerie de meulière avec mortier de chaux et sable. Le fond est formé par un massif de maçonnerie de béton de 75 centimètres d'épaisseur. Toutes les surfaces mouillées sont recouvertes d'un enduit à deux couches en mortier hydraulique, formé avec du sable et de la chaux de Sénonches.

Le réservoir est alimenté par une conduite de 25 centimètres de diamètre, qui prend son origine dans la bâche Saint-Laurent, et a 4750 mètres de longueur ; la différence de niveau entre le niveau légal de l'eau au bassin de La Villette et la tablette du couronnement des réservoirs est de 3 mètres 943 millimètres. Le produit est de 100 pouces ou 1919 kilolitres en vingt-quatre heures.

Le système hydraulique, placé dans une galerie voûtée, comprend, outre la conduite alimentaire, une conduite de 32 centimètres pour le service de l'Entrepôt, une conduite de distribution de 25 centimètres de diamètre dans les quartiers Saint-Victor et Saint-Marcel, une conduite de décharge, et sept robinets pour intercepter ou rétablir la communication entre ces différentes conduites et les réservoirs.

[1] Cet éloge du réservoir Saint-Victor nous paraît au moins exagéré. La forme académique qu'on a donnée à ses parois, comme s'il s'agissait d'établir une pièce d'eau dans un parc, a diminué sa capacité et augmenté inutilement la dépense de construction. L'idée de consacrer un tuyau et un bassin spéciaux pour l'alimentation de l'Entrepôt des vins, se rattache à l'ancienne et mauvaise méthode d'alimentation directe des concessions particulières. Nous avons dû rendre les deux bassins au service public ; l'alimentation de l'Entrepôt se fait en route, et deux conduites de 0m,50 remplacent aujourd'hui le système hydraulique beaucoup trop compliqué qui existait autrefois.

Digitized by Google

144. On creuse quelquefois de grands réservoirs dans le terrain naturel; et, pour les rendre imperméables, on étend sur le fond et sur les talus, auxquels on donne une inclinaison considérable, un corroi général en glaise, sans aucune rupture de continuité, recouvert d'une couche de terre et d'une couche de gravier.

145. Les bassins des jardins se construisent ordinairement en maçonnerie, à laquelle on donne 25 centimètres d'épaisseur, tant pour le mur de revêtement que pour le fond. On revêt ensuite le tout d'une chemise de ciment à gros cailloux, puis d'un lit de mortier plus fin, formé de briques ou tuiles broyées et passées au sas.

146. On est obligé de vider le bassin, soit pour le nettoyer des saletés que le vent y apporte, soit pour y faire les réparations que le temps a rendues nécessaires. A cet effet, on donne au fond horizontal du bassin une légère pente vers une partie de son contour, où l'on fait aboutir un tuyau de plomb ou de grès. Ce tuyau communique avec un puisard où les eaux vont se perdre. Cette conduite de décharge, d'un calibre proportionné au volume des eaux qu'elle doit laisser écouler, est bouchée dans l'intérieur du bassin, soit par un cylindre de chêne entouré d'étoupes et entré à force dans le tuyau, soit par une soupape en cuivre qui clôt juste un bout de tuyau conique du même métal, et que la pression des eaux maintient fermée; ou, ce qui est encore préférable, par un robinet placé sur la conduite dans un regard extérieur.

147. M. Lacordaire, ingénieur des ponts et chaussées, a découvert un ciment qu'on peut employer avec avantage dans la construction des bassins. On le mélange avec moitié de sable, et on le gâche par *truellées* comme le plâtre. Il durcit promptement à l'air et dans l'eau.

On commence par former une maçonnerie de briques, en l'employant comme mortier. Celles du fond sont posées à plat, à joints recouverts : celles formant le pourtour sont posées de champ. On recouvre ensuite le parement intérieur d'un enduit de 0,027$^{mil.}$ (1°) d'épaisseur, et l'on forme le couronnement au moyen d'un moule qu'on fait courir horizontalement.

Nous avons assisté à la construction d'un bassin de cette espèce, placé dans le jardin de l'École des Mines à Paris. Il a 4 mètres de diamètre et 1 mètre de profondeur; la maçonnerie du fond a l'épaisseur de deux briques, et celle du mur circulaire la longueur d'une brique seulement.

Digitized by Google

On fit d'abord l'enduit de la partie verticale, en le prolongeant jusqu'à 15 centimètres du fond, pour qu'il n'y eût pas de joint dans l'angle. La surface inférieure de ce joint n'était pas horizontale, mais en biseau : l'arête apparente disparut entièrement, en lissant le parement avec une truelle en bois, qui ramenait à la surface la silice entrant dans la composition du mortier.

Enfin, on peut construire des réservoirs en pierre de taille, en ayant soin de garnir tous les joints avec du mastic d'Aquin ; il prend sur toutes les pierres, excepté sur celles qui sont spongieuses. Il peut être employé dans tous les travaux d'art solides, exposés à toutes les injures des saisons.

148. Nous distinguerons, dans les fontaines publiques, l'ouvrage d'architecture et le système hydraulique.

L'architecture peut varier à l'infini la forme et la décoration de ces monuments, aussi les fontaines ont-elles pris différents noms suivant leur forme et leur situation ; mais, soit qu'on élève des fontaines à bassin, à coupe, à cascade, soit qu'on ne présente qu'un simple jet, on ne doit pas perdre de vue que le premier ornement est une quantité d'eau considérable, à laquelle on donne le plus grand développement possible. Il faut que l'eau se divise en bulles, qu'elle réfléchisse et disperse la lumière, que ses effets se reproduisent sans cesse par le mouvement. Telles sont les fontaines de Rome, de Versailles, que l'on ne peut se lasser d'admirer.

Le système hydraulique a pour objet de distribuer l'eau suivant la forme de la fontaine, et de la faire jeter par des statues, par des conques marines, des urnes, des ajutages ; de la faire sortir de l'ouverture d'un mur ou d'une masse de rochers. Les moyens qu'on emploie sont toujours semblabes, et se réduisent à brancher des tuyaux de plomb sur une conduite principale, et à les faire aboutir par des inflexions aux divers orifices par où les eaux doivent être versées.

149. Lorsqu'on veut former un jet d'eau, il faut que l'eau ait, à la sortie de l'orifice, une vitesse due à la hauteur à laquelle elle doit s'élever en vertu de la charge motrice. Il faut donc réduire l'orifice à une grandeur telle, qu'en multipliant cette vitesse par la superficie de l'ouverture, on ait une dépense égale à celle de la conduite.

Lorsque l'eau doit se répandre en nappe, alors la colonne montante

Digitized by Google

peut conserver la même grosseur que la conduite alimentaire, et s'élever jusqu'à la hauteur à laquelle l'eau peut naturellement monter en conservant la vitesse ordinaire.

Les planches XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII et XVIII représentent plusieurs espèces de fontaines, et l'explication qui les précède suffira pour en faire connaître tous les détails de construction.

150. Le lavage des rues se fait, à Paris, au moyen de bouches d'eau placées au-dessus du sol des rues. On détermine la position de ces bouches d'eau d'après la condition que chacune d'elles puisse arroser la plus grande superficie possible de terrain. Or, pour atteindre ce but, il est évident qu'elles doivent être érigées sur les points les plus élevés de chaque rue, c'est-à-dire, à la limite commune de deux bassins d'égouts contigus. La surface du pavé de Paris se trouve en effet divisée en plusieurs régions ou compartiments distincts, sur chacun desquels les eaux pluviales et domestiques s'écoulent en différents sens, pour se rendre, soit directement à la rivière, soit dans l'égout le plus voisin.

151. Les robinets des bouches d'eau sont enfermés dans des bornes creuses, en fonte, de forme prismatique.

L'orifice de la bouche d'eau porte un pas de vis destiné à recevoir, en cas d'accident, un tuyau de cuir qui alimente une ou plusieurs pompes d'incendie.

Les bornes ont 1 mètre de hauteur; leur base rectangulaire a ses deux côtés inégaux, l'un de 38 centimètres, l'autre de 19 centimètres : on les adosse contre les murs de face des maisons, sur lesquels elles forment saillie.

152. Cette disposition n'avait donné lieu à aucune plainte; mais depuis l'établissement des trottoirs, on a senti qu'il y aurait de l'inconvénient à conserver une saillie sur les façades, et surtout à gêner la circulation par un jet continu, qui forcerait à chaque instant les piétons à se détourner pour reprendre le pavé des rues.

153. On a proposé d'abord de placer les bornes-fontaines en dehors des trottoirs, et de les défendre par deux bornes en pierre.

Ce moyen a paru peu satisfaisant, parce qu'en mettant les bornes-fontaines à l'abri du choc des voitures, on créait pour celles-ci des causes

Digitized by Google

d'embarras et de destruction, qui pourraient donner lieu à de graves accidents dans les rues étroites et populeuses.

Comme la saillie des bornes-fontaines sur les façades est peu considérable, nous pensons qu'il suffirait de supprimer l'écoulement au-dessus du pavé. On conserverait toutefois la bouche d'eau pour y adapter le pas de vis d'un tuyau de cuir en cas d'incendie, et on placerait une seconde bouche d'eau au niveau du pavé, sous le trottoir, dont l'écoulement serait réglé par un robinet d'arrêt, situé sur le branchement alimentaire dans la cuvette de la borne-fontaine, à côté de l'origine de la colonne montante.

Enfin, on peut employer l'appareil suivant, dans lequel la saillie de la borne se trouve entièrement supprimée.

Il se compose d'un seul robinet, portant deux clefs à têtes carrées, séparées par une bouche verticale d'incendie, et deux brides de raccordement aux extrémités : la première servant à fixer l'ajutage qui versera l'eau de lavage, la seconde, le tuyau de branchement sur la conduite alimentaire.

La bouche d'incendie est terminée par un pas de vis destiné à recevoir, soit un chapeau couvert, lorsque l'eau servira au lavage, soit la virole du tuyau de cuir qui alimentera les pompes à incendie, lorsqu'on aura intercepté le premier écoulement.

Ce robinet se fixe dans une cuvette de 45 centimètres en carré, placée dans l'épaisseur du trottoir, et fermée par le moyen d'un couvercle en fer battu.

154. Le service des bornes-fontaines se fait deux fois par jour, à six heures du matin et à midi [1]. On laisse couler les eaux pendant une heure. Leur volume n'est pas assez considérable pour qu'elles servent à nettoyer le pavé des rues et les ruisseaux ; aussi ne remplissent-elles qu'imparfaitement leur destination. Si l'on veut réellement maintenir la propreté dans les rues de Paris, il faut faire concourir vers ce but le *lavage* et le *balayage* des rues. Il ne suffit pas de les faire parcourir par des voitures dans lesquelles on charge les tas d'immondices qui ont été déposés sur le devant des façades. Outre qu'on ne choisit que celles qui peuvent fournir un bon engrais, il est impossible que des propriétaires ou locataires de maisons aient le soin de relever les boues. On devrait donc former des brigades de balayeurs qui précéderaient les voitures et nettoieraient le pavé et

[1] L'été il y a un troisième service le soir. J. D.

Digitized by Google

les ruisseaux des rues, au moment où les eaux couleraient. Mais pour ôter aux passants le spectacle dégoûtant de leur costume, et diminuer les embarras, il serait convenable, surtout en été, de ne procéder que la nuit à cette opération. Ceci s'accorderait, d'ailleurs, parfaitement avec le système de distribution des eaux que nous proposons, et qui consiste à faire pendant le jour le service des concessions particulières et celui des fontaines monumentales, et pendant la nuit le service des bornes-fontaines. Dans l'intérieur des marchés seulement, on pourrait faire un second lavage au milieu de la journée.

155. Depuis que les constructions se sont multipliées dans Paris, et que l'on a reconnu la nécessité de rejeter hors de l'enceinte des murs extérieurs les voiries où l'on déposait toutes les boues, le transport des immondices donne lieu à des dépenses très-considérables. La matière propre aux engrais ne s'y trouve pas en assez grande abondance pour que les cultivateurs des environs viennent les ramasser, ou que leur enlèvement puisse donner lieu à une spéculation lucrative. Il faut donc, autant que possible, chercher à diminuer les frais de transport.

On y parviendra en balayant les rues au moment où les bornes-fontaines couleront, et en faisant ainsi entraîner aux eaux presque toutes les matières liquides. Les chasses produites par les 4,000 pouces d'eau de l'Ourcq jetés dans les égouts suffiront ensuite pour entraîner les dépôts. Ce n'est qu'en combinant ces différents moyens qu'on pourra obtenir un résultat satisfaisant.

156. Les petits tuyaux de distribution dans les maisons particulières n'ont qu'un diamètre de un à deux pouces. Il est important de s'assurer, avant de les mettre en place, qu'ils n'ont aucune fuite : on les essaye en les emplissant sous une charge convenable, et observant si aucune partie ne se mouille à l'extérieur.

157. Les ouvriers chargés de la pose des tuyaux doivent éviter de les placer dans un espace libre trop grand, tel, par exemple, que l'intervalle entre un plafond et un plancher, de peur qu'une fuite ayant lieu, l'eau ne puisse se répandre en abondance, et produire de grands dégâts. On fera bien, en général, de renfermer le tuyau conducteur dans une rainure qui n'ait aucune communication avec une cavité trop considérable.

158. On doit aussi tenir compte des variations de température, et soustraire, autant que possible, les tuyaux au contact de l'air. Si le froid est

Digitized by Google

de quelques degrés au-dessous de zéro, l'eau pourrait se geler et produire la rupture des tuyaux. Si l'air en contact est au contraire plus échauffé que l'eau, il se refroidit, la vapeur qu'il contient se refroidit également; par conséquent, l'air est amené plus près du point de saturation, et peut, en abandonnant son eau, causer de l'humidité.

Il faut donc envelopper les tuyaux de substances peu conductrices de la chaleur, comme de la bourre ou du charbon pilé, qu'on placerait dans une double enveloppe en cuir. On peut encore mastiquer les tuyaux avec de l'asphalte ou goudron minéral.

159. Lorsqu'on établit des conduites d'eau en tuyaux de plomb, on doit donner la préférence à ceux qui sont tirés à la filière, car ils ont le grand avantage sur les tuyaux soudés de se dilater également, et de pouvoir, dans de certaines limites, céder sans rompre.

160. L'eau qui alimente les concessions particulières est ordinairement reçue dans chaque maison dans un réservoir en charpente, recouvert à l'intérieur d'une lame de plomb.

La caisse est formée par des pièces horizontales reliées par des montants verticaux, dont les intervalles sont occupés par des traverses en diagonale. L'intérieur est planchéié sur toutes les faces, avant d'y mettre les tables de plomb, qui, sans cet appui, pourraient céder au poids du volume d'eau qu'elles sont destinées à porter. Enfin, la caisse est posée à la hauteur convenable sur des piliers de charpente, élevés sur des dés en maçonnerie.

Le robinet placé à la partie inférieure de la conduite alimentaire porte ordinairement un *flotteur*, qui tend à fermer ou à ouvrir le robinet, selon que l'eau monte ou s'abaisse dans le réservoir (pl. X, fig. 9 et 10). Par ce moyen, on évite la pose du tuyau de *trop-plein*, et il n'y a pas de perte d'eau. Mais il faut toujours un tuyau de décharge pour vider à volonté le réservoir, et le nettoyer.

On peut faire également des réservoirs en maçonnerie, mais ils ont le désavantage de ne pas laisser apercevoir aussi facilement les fuites.

161. Lorsque l'on fait des fournitures d'eau par attachement, le concessionnaire est libre alors de puiser à discrétion dans le réservoir. Mais on ajoute un appareil appelé *compteur* (pl. VII, fig. 8 et 9), qui a pour résultat de tenir en réserve une fraction d'eau qui s'écoule, la millième partie, par exemple; et, comme la fermeture est telle qu'elle exige la pré-

Digitized by Google

sence du concessionnaire et de l'agent de l'administration, on peut évaluer à chaque instant du jour la quantité d'eau dépensée.

CLARIFICATION ET DÉPURATION DES EAUX [1].

Les eaux peuvent être rendues impures par des matières tenues en *suspension*, ou par des substances organiques en *décomposition*.

Dans le premier cas, les eaux sont clarifiées par la *précipitation* produite par le repos, par la *séparation* au moyen de réactifs, par la *filtration* à travers les molécules de certains corps.

Dans le second cas, on dépure les eaux par la filtration, mais en employant d'autres substances, et particulièrement le charbon.

Clarification par la précipitation ou le repos. — Le moyen le plus simple pour clarifier les eaux, c'est de les recevoir dans de vastes bassins, et de les y laisser assez longtemps pour qu'elles abandonnent, par le *repos*, les substances étrangères qu'elles charrient.

Ce moyen est généralement pratiqué; mais voici les divers inconvénients qu'il présente.

La dépuration par le repos est très-lente pour être bien exécutée; de là la nécessité de construire de très-vastes réservoirs, et de se livrer à de grandes dépenses.

Si les matières entraînées doivent leur origine à des substances organiques, le repos place l'eau des réservoirs dans la condition des eaux stagnantes. Ces substances éprouvent facilement, par le repos, différents degrés de décomposition ; il en résulte une altération plus ou moins sensible de l'eau, et surtout une privation de la partie de gaz oxygène qui est employée pour la décomposition de ces substances. Aussi n'obtient-on presque jamais des eaux bien limpides, même après avoir consacré à cette opération un temps beaucoup plus long que ne le permettent les besoins ordinaires d'une grande distribution d'eau.

Clarification par l'emploi des réactifs, et notamment de l'alun. — On a

[1] Ce chapitre ne faisait pas partie de l'*Essai sur les moyens d'élever, de conduire et de distribuer les eaux*, publié par Genieys ; il a été inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* (1er semestre de 1835, p. 56) après la mort de cet habile ingénieur. Ce Mémoire renferme des détails intéressants sur les appareils de filtrage en petit, qui non-seulement peuvent trouver une application immédiatement utile, mais servir de point de départ pour résoudre la question du filtrage en grand. J. D.

Digitized by Google

cherché divers moyens pour hâter la séparation des substances en suspension. Dans quelques établissements de Paris on a tenté l'emploi de sels qui, par une double décomposition avec les sels contenus dans les eaux, forment des sels d'une pesanteur spécifique assez grande pour qu'ils se déposent promptement et entraînent avec eux les matières en suspension. Mais ces moyens, devant être modifiés d'après les changements presque continuels qui surviennent dans les proportions de sels tenus en dissolution dans les eaux, ne doivent être employés qu'avec beaucoup de précautions. On en trouve un exemple, et c'est même la seule application que nous puissions citer, dans plusieurs fabriques, et dans quelques hôpitaux, qui, pour leur service, ne peuvent pas employer l'eau de Seine telle que la puisent directement à la rivière les diverses pompes de la ville, lorsque des crues subites ont chargé ces eaux de parties limoneuses. Ce moyen consiste à faire usage de l'alun, ou sulfate acide d'alumine, et de potasse ou d'ammoniaque ; ce sel agit avec beaucoup d'efficacité pour séparer les matières étrangères en suspension dans les eaux. On n'a pas encore expliqué clairement son mode d'action dans cette opération ; on sait seulement, par l'expérience, que si dans un hectolitre d'eau très-trouble on ajoute cinq grammes environ d'alun, l'eau devient très-limpide, et dans un temps assez court.

On conçoit très-bien que les éléments que ce procédé introduit dans l'eau sont en trop petite proportion pour devenir nuisibles dans les usages ordinaires. Mais ce moyen n'est cependant pas devenu d'un emploi commun, et la filtration, qui en reproduit d'ailleurs tous les avantages, sans en présenter les inconvénients, est aujourd'hui le procédé le plus généralement répandu.

Filtrations à travers les pores de certains corps. — Pour séparer par la filtration les substances en suspension dans les eaux, on met en pratique ce que la nature exécute continuellement sous nos yeux pour les eaux de sources. On a remarqué que certaines pierres calcaires avaient leur texture assez poreuse pour permettre à l'eau un passage facile, en arrêtant toutefois les corps qu'elle contient : ce qui produit un filtre naturel.

On supplée à ces pierres filtrantes, en leur substituant diverses couches de sable et de cailloux roulés de diverses grosseurs. Les matières en suspension sont déposées dans le trajet, et l'eau sort ordinairement assez limpide.

Digitized by Google

On emploie encore pour le même usage, et d'après le même principe, des éponges fines que l'on fait également traverser par l'eau avec lenteur.

Lorsque la faculté filtrante de ces corps est ralentie par l'accumulation des substances étrangères, il est nécessaire de nettoyer ces mêmes corps par des lavages successifs, pour que les filtres puissent continuer à fonctionner; seulement les difficultés que présente cette opération déterminent à préférer généralement les filtres composés de sable, aux éponges et aux pierres poreuses. Ce mode de filtration se lie, au surplus, facilement à l'emploi et à l'application d'une ou de plusieurs couches de *charbon pilé*, addition importante dont nous allons examiner les effets, et au moyen de laquelle on parvient à débarrasser les eaux des *substances organiques* en décomposition.

Filtration par l'emploi du charbon. — Le charbon, soit animal, soit végétal, jouit de la propriété d'absorber les gaz et d'agir sur les principes organiques en dissolution dans l'eau, de telle sorte qu'elle se trouve non-seulement débarrassée de toutes les substances qu'elle tenait en suspension et qui altéraient sa diaphanéité, mais que l'eau la plus corrompue perd sa mauvaise odeur et son mauvais goût.

Loowitz, de Pétersbourg, publia le premier, au commencement de ce siècle, un mémoire sur l'emploi du charbon comme moyen de purification d'un grand nombre de substances. Berthollet indique plusieurs de ces applications, entre autres celles de *charbonner* l'intérieur des tonneaux pour conserver l'eau dans les voyages maritimes. James Smith, Cuchet et Denis Montfort s'occupèrent plus spécialement des eaux malsaines. En présence d'une Commission composée de membres de l'Institut, ils firent traverser un filtre de charbon par de l'eau infecte et repoussante. Elle en sortit parfaitement limpide et bien potable; seulement, lorsqu'on la conservait de nouveau pendant quelque temps, on observa qu'elle reprenait ses mauvaises qualités, de même qu'elle redevenait saine par une nouvelle filtration à travers le charbon. Ce fait prouve que le charbon, même en excès, n'enlève pas à l'eau toutes les substances organiques qu'elle peut tenir en dissolution, et qu'il n'absorbe que celles qui sont arrivées à un certain degré de décomposition. Les auteurs de cette application prirent un brevet d'invention, et ils employèrent leur procédé à la purification des eaux distribuées dans Paris[1].

[1] On trouvera, sur la propriété et les applications du charbon, tous les renseignements qu'on

Digitized by Google

Nous allons maintenant faire connaître les divers appareils qui ont été proposés et qui sont employés pour cet effet; nous commencerons par les applications particulières; on passera ensuite aux emplois généraux. Ce que nous allons dire est extrait du *Dictionnaire technologique*.

Les appareils peuvent être en bois, en pierre ou en terre cuite; leur forme extérieure est cylindrique ou conique, à base quadrangulaire ou circulaire, à volonté; on peut se servir tout simplement d'une futaille. Il suffit d'élever l'appareil, quel qu'il soit, sur un trépied en bois d'environ un pied de hauteur, afin d'en pouvoir tirer l'eau avec facilité.

A 4 ou 5 pouces du fond, est une première séparation en métal ou en grès, percée d'une multitude de petits trous comme une écumoire : elle est exactement lutée contre les parois intérieures de la fontaine. On place un robinet au fond du vase, pour pouvoir retirer toute l'eau contenue dans l'espace ménagé au-dessous de cette séparation. Un petit tuyau, de 5 à 6 lignes, descend du haut le long des encoignures de la fontaine, et vient aboutir dans cet intervalle. C'est par là que s'échappe ou arrive l'air, lorsqu'on remplit ou qu'on vide cette capacité.

On met d'abord sur cette première séparation un tissu de laine et par-dessus une couche de grès pilé d'environ 2 pouces d'épaisseur. On forme aussi une autre couche d'un pied d'épaisseur, plus ou moins, selon la profondeur de la fontaine, avec un mélange de poudre grossière de charbon de bois et de grès pilé très-fin et bien lavé. A défaut de grès, on peut employer du sable fin de rivière. On a soin de comprimer fortement cette couche, afin que l'eau qui doit la traverser reste longtemps en contact avec le charbon. Par-dessus on met une troisième couche de sable ou de grès pilé, à peu près de 2 pouces d'épaisseur, et l'on recouvre le tout d'un plateau ayant la forme exacte de la fontaine, parfaitement luté dans son pourtour. Ce plateau, en grès ou en pierre, est percé vers son milieu de trois ou quatre trous d'un pouce.

On place sur chacun de ces trous des champignons en grès, dont la tige creuse est percée de petits trous; la tête de chaque champignon est enveloppée d'une éponge. L'eau, en traversant les éponges, se débarrasse déjà

pourra désirer dans le Mémoire de Loowitz, traduction anglaise, Crellis *Annals* 11165; le Mémoire de Théodore de Saussure, *Annales de chimie*, XXXII; les Mémoires intéressants de MM. Bussy et Payen, *Journal de pharmacie*, VIII.

Digitized by Google

des substances qui ne sont que suspendues. On a soin de laver ces éponges de temps à autre.

Un petit tuyau en plomb, semblable à celui dont nous avons parlé plus haut, va de ce plateau à la partie supérieure de la fontaine; sa fonction est de donner issue à l'air contenu dans les couches de matières filtrantes, à mesure que l'eau s'y introduit.

Ces dispositions peuvent être modifiées de différentes manières pour les approprier à divers usages; tantôt, par des cloisons intérieures, l'eau est forcée, lorsqu'elle est descendue en se filtrant, de remonter au travers de nouveaux filtres; tantôt elle descend directement jusqu'au fond de l'appareil; et puis, forcée de remonter au travers des filtres, elle s'échappe par un robinet placé vers le milieu de la fontaine, comme on le verra par les descriptions suivantes.

Fontaines domestiques. — Pl. XIX, fig. 1. Vue d'une fontaine en grès, posée sur son trépied, garnie de son couvercle et de ses deux tuyaux aériens, dont on voit l'extrémité supérieure en *a;* ils se prolongent dans l'intérieur, l'un jusqu'au-dessous du plateau *b*, et l'autre jusque dans la capacité inférieure *g*. On a supposé les parties antérieures enlevées, afin de laisser voir les dispositions intérieures.

b, plateau métallique luté contre les parois de la fontaine, et portant au centre un seul champignon *c* avec son éponge.

d, cloche posée en recouvrement sur l'entonnoir *e*, dont le tuyau porte l'eau filtrée dans le réservoir *g*.

f, robinet par lequel on soutire l'eau filtrée contenue dans le réservoir *g*.

Fig. 2. Vues isolées en plan et en élévation de la cloche *d*, posée sur la première séparation.

Fig. 3. Vue du plateau métallique *b*, portant un rebord dans tout son contour, destiné à loger le lut, et une ouverture circulaire au milieu, pour recevoir la tige creuse du champignon *c*, ainsi qu'une petite échancrure sur le côté, pour le passage des tuyaux aériens *a*.

Tonneau-filtre. — Fig. 4. Coupe verticale de ce tonneau, en bois de chêne cerclé en fer, ayant deux anses et un robinet dans le bas. On y voit en *aa*, un premier fond en bois, garni de quatre champignons b^1, b^2, b^3, b^4, sur lequel on verse l'eau qu'on veut filtrer.

Fig. 5. Plan de ce fond, avec les quatre champignons b^1, b^2, b^3, b^4.

cc, deuxième fond percé de petits trous.

Digitized by Google

d^1, d^2, deux couches de grès pilé, immédiatement au-dessous de l'un et au-dessus de l'autre fond. Ces deux couches sont séparées par une autre couche de charbon pilé *e*, mêlé de grès ou de sable fin.

Fig. 6. Détails d'un champignon *b*, garni de son éponge, tant intérieurement que tout autour; la partie inférieure *f* se place et se cloue sur le fond supérieur *aa*.

Filtre portatif. — Fig. 7. Coupe verticale de ce vase conique en bois, cerclé en fer, avec deux anses, un couvercle, et posé sur un trépied comme la fontaine domestique, fig. 1. Ce filtre est placé dans le fond du vase et entièrement entouré de grès, que recouvre un fond *aa*, non luté contre les parois. L'eau dont on remplit la capacité supérieure, et, partant, la capacité inférieure *b*, s'introduit dans l'appareil *f*, remonte dans la capacité *c*, jusqu'à la rangée des trous percés dans le haut de la cloison *g*, et se rend de là, à travers les trous du double fond *h*, dans le réservoir *d*, d'où elle s'échappe par le robinet *e*. Après ce trajet elle est parfaitement clarifiée.

Fig. 8. Plan du filtre portatif, en fer-blanc ou en plomb, ayant la forme d'un tambour. Le fond supérieur en est enlevé, pour laisser voir la cloison *g* qui sépare le filtre en deux capacités, et les trous pratiqués, tant dans le fond *f* que dans le double fond *h*.

Fig. 9. Vue du fond inférieur *f* du même tambour. La capacité *c* est remplie des matières filtrantes, et *d* est le réservoir de l'eau purifiée.

La fig. 10 montre en élévation la cloison *g*, ou diaphragme *g* du filtre. On y voit dans la partie supérieure une rangée de trous qui permettent à l'eau de passer de la capacité *c* dans la capacité *e*, et de là dans la capacité *d*, à travers la cloison ponctuée *h*, qui, avec le fond, forme cette capacité *d*.

Filtre marin. — La forme et les dispositions intérieures des fontaines destinées à la marine sont assez diversifiées; l'exemple qu'en présentent les fig. 11 et suivantes en donne une idée générale. Cette fontaine est construite de telle sorte que le mouvement du vaisseau ne puisse ni empêcher ni ralentir la filtration de l'eau. La forme extérieure, fig. 11, ne diffère guère de celle du tonneau-filtre, fig. 4.

Fig. 11. Coupe verticale de cette fontaine. On voit, à la partie supérieure en *a*, un seau de clapotage qui la ferme exactement, et dont le fond est percé de trous.

Digitized by Google

Ce seau, représenté fig. 12, est garni de deux anses; il est destiné à empêcher l'eau de jaillir, lorsque le vaisseau éprouve des mouvements violents.

La filtration s'opère ici par ascension. L'eau, d'abord versée dans le seau de clapotage, remplit la capacité *b*, et ensuite la capacité inférieure *c*, par le tuyau de communication *d*; en cherchant à prendre son niveau, elle remonte à travers les fonds percés e^1, e^2, et les couches *f*, *g*, *h*, pour se rendre dans le réservoir *h*, d'où on la tire par le robinet *i*.

ll, petit tuyau aérien, en plomb, qui part du réservoir *k*, et s'élève jusqu'au haut de la fontaine.

m, robinet de décharge qu'on ouvre lorsque la fontaine a besoin d'être lavée.

Fig. 13. Plan du fond du seau de clapotage.

Fig. 14. Plan d'un des fonds e^1 e^2 de la fontaine percée de petits trous.

Etablissement du quai des Célestins, à Paris. — Le système de dépuration que nous venons de décrire a été établi à Paris en 1806, c'est-à-dire après l'expiration du brevet de Smith, Cuchet et Montfort. On le voit aujourd'hui quai des Célestins; M. Happey, qui l'a fondé, en est le propriétaire; il peut fournir en très-grande quantité de l'eau dépurée : elle se vend au même prix que prennent les porteurs d'eau, 10 centimes (2 sous) la voie. Nous allons donner une idée de cet important établissement.

En entrant dans la cour on aperçoit d'immenses cuves en bois, de 15 pieds de diamètre sur 12 pieds de hauteur, de la contenance chacune de 350 muids.

Elles reçoivent l'eau de la rivière par trois corps de pompes mus par un manége. L'eau est prise au milieu de la rivière, et amenée à l'établissement par un aqueduc de 50 toises de long. C'est dans les cuves que l'eau de la rivière commence à déposer le limon dont elle est chargée.

Pour bien comprendre le mécanisme de cette opération préparatoire, il faut supposer d'abord que les cuves sont vides. On commence par en remplir une, que nous désignerons par le n° 1; on remplit ensuite le n° 2, puis le n° 3; lorsque celle-ci est pleine, on fait monter l'eau dans les filtres dont nous allons parler, et, lorsque le n° 1 est vide, on fait passer dans les filtres l'eau du n° 2, et ainsi de suite. Pendant ce temps on remplit de nouveau le n° 1, après avoir fait sortir le limon qui était déposé au fond de la cuve. On conçoit que par cet arrangement successif il y a toujours une cuve

Digitized by Google

pleine dont l'eau dépose, une autre cuve dont l'eau monte dans les filtres, et une troisième dans laquelle arrive l'eau de la rivière. Chaque cuve peut se remplir en trois heures.

La partie la plus importante et la plus curieuse de cet établissement est la salle aux filtres; elle est placée au second étage de la maison, et toute l'eau des cuves dont nous venons de parler est montée dans cet étage, où elle se purifie. Le même manége qui fait mouvoir les trois corps de pompe qui aspirent l'eau de la rivière, met en mouvement trois autres corps de pompe qui prennent l'eau dans les cuves et la portent dans la salle aux filtres.

Cette salle a 87 pieds de long sur 32 pieds de large. La fontaine en cascade, où l'eau arrive par un long tuyau, fait face à la porte d'entrée. L'eau descend en cascades dans les trois bassins inférieurs, et se rend, par le trop-plein du dernier bassin, dans des canaux qui font le tour de la salle, ainsi que dans des conduits semblables qui sont dans le milieu. Les canaux communiquent ensemble par des tuyaux en plomb, de sorte que, par ce moyen, l'eau fait tout le tour de la salle et la traverse dans son milieu. De ces canaux l'eau tombe dans les filtres, et, après qu'elle les a traversés, elle se rend dans deux immenses cuves semblables à celles qui sont dans la cour, d'où elle est tirée en dehors par les voituriers, qui la transportent chez les particuliers.

Les filtres sont des caisses prismatiques doublées en plomb, qui reçoivent chacune l'eau que fournissent quatre à cinq tuyaux. Chacune de ces caisses est construite intérieurement comme les filtres de Smith et Cuchet, que nous avons décrits; elles ont un double fond percé de trous, sur lequel est une couche de gravier, d'un pouce d'épaisseur, puis une forte couche de charbon [1] mêlé de petit sablon; le tout est couvert d'une couche de gravier, de 1 à 2 pouces.

L'eau se rend d'abord dans des vases en plomb, qui ont la forme de bouteilles couchées, solidement fixés dans les canaux. Ils soutiennent

[1] On dit qu'en traversant les filtres de charbon l'eau se prive d'une certaine quantité de l'air qu'elle contenait, et qu'il est indispensable de la soumettre à une sorte de batillage pour lui restituer ce principe de salubrité; mais on suppose, dans ce cas, que l'action dépuratoire du charbon est toujours active; or, si l'on observe que cette matière est renouvelée peu fréquemment dans les deux établissements d'eaux dépurées de la capitale, et qu'alors son action sur le gaz doit être nulle, on concevra facilement que l'opération de batillage devient inutile.

Digitized by Google

chacun une éponge, qui arrête une grande partie des sables que l'eau entraîne. Ces éponges sont changées toutes les deux ou trois heures, et lavées avec soin. Un ouvrier est constamment occupé à cette opération [1].

Lorsque nous avons visité l'établissement, il y avait trente-quatre caisses de 3m,25 de longueur et 0m,65 de largeur, produisant une surface filtrante de 71m,82. On filtrait 1,000 voies d'eau environ par jour, ou 230 kilolitres, ce qui fait 3,202 litres par mètre superficiel en vingt-quatre heures, ou 133lit.,42 par heure, et 2lit.,22 par minute.

Etablissement dit de la Boule-Rouge, à Paris. — Il existe encore à Paris, à la Boule-Rouge, un établissement monté sur les mêmes principes, qui dépure à volonté, isolément, ou mélangées, les eaux qui y arrivent par deux prises d'eau distinctes, l'une amenant les eaux de la Seine, l'autre les eaux du canal de l'Ourcq.

L'établissement de la Boule-Rouge contient soixante-douze filtres de 0m,975 de longueur sur 0m,487 de largeur, ce qui produit une surface filtrante de 34m.q.19; il livre à la distribution de 4 à 500 voies d'eau par jour [2].

[1] *Dictionnaire technologique*, t. IX. Paris, 1826.

[2] *Renseignements complémentaires recueillis en* 1833 *sur l'établissement de la Boule-Rouge.* — Au premier étage sont, au nombre de neuf, d'énormes cuves circulaires ou elliptiques en bois, contenant ensemble 1,000 hectolitres, et qui forment réservoir d'eau filtrée pour le remplissage des tonneaux. Toutes ces cuves communiquent entre elles.

Le deuxième étage est consacré à l'opération du filtrage des eaux de l'Ourcq : soixante-quatorze filtres en pierre, contenant 100 hectolitres ensemble, y sont disposés avec une intelligence fort remarquable.

Tous ces filtres communiquent encore ensemble, ce qui empêche qu'il n'y ait remplissage et déversement par-dessus les bords des premiers filtres. On peut cependant isoler à volonté un ou plusieurs de ces filtres pour leur nettoiement; tous ces appareils déversent le produit de leur filtration dans des rigoles en plomb qui aboutissent aux cuves du premier étage.

La filtration s'opère à travers cinq couches.

La couche supérieure n° 1 et la couche inférieure n° 5 sont en petits graviers.

La deuxième couche supérieure n° 2 et la couche avant-dernière et inférieure n° 4, sont en grès tamisé.

Ces quatre couches ont constamment 2 pouces d'épaisseur.

La couche du milieu n° 3 est en charbon pulvérisé et tamisé, son épaisseur varie de 3 à 6 pouces, suivant que les eaux à filtrer sont plus ou moins chargées de sédiments végétaux et animaux.

Un contre-maître et deux ouvriers sont employés à cette manutention, au nettoiement des filtres, au lavage des matières, etc., ainsi qu'à la surveillance et à la tenue de tout l'établissement. H. C. E.

Digitized by Google

Etablissement du Gros-Caillou. — Il existe encore un établissement où l'on clarifie parfaitement les eaux de la Seine : c'est celui des eaux minérales artificielles de MM. Planche, Boullay, Bouclet, Cadet et Pelletier. Cet établissement est situé au Gros-Caillou, dans le voisinage de la pompe à feu. L'eau puisée dans la Seine arrive directement à l'établissement par des conduites de fer.

Deux vastes réservoirs en bois, placés dans l'intérieur de l'établissement, reçoivent celle destinée au service des machines.

On a mis à profit la pression qu'offre le réservoir de la pompe à feu qui est élevé de plus de 60 pieds au-dessus du sol, pour faire arriver l'eau de bas en haut dans le premier réservoir.

Elle y subit une première épuration en traversant une couche de sable et de charbon placée sur un diaphragme à quelque distance du fond ; elle passe de ce premier réservoir dans le second, au moyen d'un siphon disposé de telle sorte que l'eau est obligée de traverser un deuxième filtre, et toujours par ascension.

Deux tuyaux en zinc, armés de robinets, distribuent cette eau, qui traverse encore un troisième filtre situé à la proximité des machines.

Cette troisième filtration n'a lieu que lorsqu'on destine l'eau à la fabrication des eaux acidulées : elle est dans ce cas parfaitement limpide.

Filtre à double courant. — M. Zeni, ingénieur à Brest, a proposé à la marine un système de filtres à *double courant*, dont les essais ont donné des résultats avantageux, comparativement à l'emploi des filtres ordinaires. En voici la description :

ab, cd, fig. 15, représentent deux tonneaux concentriques ; un seul, *ab*, est foncé par le bas : l'autre *cd* a quelques échancrures dans le bout inférieur des douves. Le sable est disposé, comme l'indique la figure, par couches successives ; celle qui renferme du charbon n'est pas plus considérable par la raison suivante : depuis qu'on fait usage de caisses en tôle, on a toujours de l'eau fort saine à bord, seulement elle est d'autant plus chargée d'oxyde de fer qu'on la puise plus près du fond ; un filtre à sable pourrait donc suffire. Mais on est exposé pendant les relâches à remplacer l'eau consommée par d'autre qui peut être insalubre, surtout si l'on se trouve en temps de pluie dans un pays boisé ; il est donc bon, pour ce cas, d'avoir du charbon dans le filtre. Ainsi, puisqu'il n'est pas destiné à agir continuellement, M. Zeni a jugé à propos d'en mettre peu : il est bon

Digitized by Google

d'ailleurs d'en faire un usage modéré, parce qu'il désoxygène un peu l'eau.

Si les circonstances ordinaires de la navigation l'exigeaient, on pourrait rendre le filtre plus puissant en ajoutant du charbon animal pour décolorer l'eau.

Le plateau *ee*, percé de trous, sert à recevoir l'eau qu'on met dans le corps intérieur; on charge ce corps jusqu'en haut, l'eau descend à travers les couches successives, et vient monter au robinet *g* par les couches placées dans l'intervalle des deux tonneaux. Le dessus du filtre est couvert d'un plateau qui s'emboîte à tabatière sur le corps extérieur; il est formé par deux cercles concentriques en bois ou en fer. La couronne qui résulte de la différence de leurs deux surfaces est foncée en toile. Cette couverture est placée dans le double but d'empêcher l'eau rouillée qu'on met dans le corps intérieur de tomber dans l'anneau cylindrique où se trouve l'eau filtrée, et d'empêcher cette dernière de passer par-dessus les bords pendant le roulis. Un chapeau plat recouvre le tout.

Il résulte de ces dispositions :

1° Que l'eau obtenue par un mouvement ascensionnel a nécessairement abandonné tous les petits corps pesants qui auraient échappé à la filtration;

2° Que l'eau parcourt un chemin double à travers les matières filtrantes, et par conséquent s'épure davantage;

3° Que l'on peut nettoyer le filtre sans le défaire, en établissant seulement un courant en sens contraire du premier.

Examinons ce qui se passe pendant l'opération : l'eau chargée de corps hétérogènes se fraye un passage à travers les matières filtrantes, et y dépose ces corps qui finissent à la longue par obstruer les chemins habituels par où l'eau passait. Alors, si l'on verse de l'eau claire par l'intervalle qui sépare les deux tonneaux, elle détruit les routes habituelles du premier courant, force les matières étrangères à remonter vers le gros sable qui se trouve à la partie supérieure des parties filtrantes du corps intérieur. On a soin d'agiter profondément ce gros sable, d'enlever à mesure l'eau sale avec un vase ou un siphon qu'on peut établir à cet effet. Deux barriques d'eau suffisent pour bien laver le filtre, et le mettre en état de donner de nouveau les premiers produits. Pour former le second courant, on a soin de tenir constamment plein, pendant l'opération, le vide annulaire cylindrique qui sépare les deux tonneaux, parce qu'alors la charge étant la plus

Digitized by Google

grande possible, l'eau passe avec une grande vitesse, et a plus de force pour chasser les corps étrangers qui auraient obstrué les premières voies.

On laisse reposer l'eau du lavage, on décante, et cette eau passée au filtre se trouve ainsi utilisée.

On voit donc que l'usage du filtre mis en essai à bord est continuel; tandis que la durée de celui en usage auparavant était subordonnée à celle du tamis de zinc, de la flanelle, et à l'engorgement des matières filtrantes.

On a aussi employé de petits filtres en tôle [1], pour l'usage des officiers. Dans ces derniers, les matières sont plus fines, peuvent être plus serrées, puisqu'il n'est pas nécessaire que les produits soient proportionnellement aussi considérables; mais leur hauteur ne permettant à l'eau que de parcourir un petit chemin, on s'est arrangé de manière à la faire descendre et monter plusieurs fois avant son arrivée au robinet, et cela au moyen de plusieurs capacités intérieures.

Ces petits filtres, construits d'après les mêmes principes que les grands, offrent les mêmes avantages, donnent d'aussi beaux produits que les pierres, et ont sur les pierres filtrantes l'avantage de contenir du charbon.

L'examen qui précède prouve que la question de la filtration des eaux n'a été considérée que relativement aux usages domestiques, et encore manque-t-on d'expériences précises et comparatives pour déterminer :

1° Le laps de temps à assigner à l'engorgement des matières et des couches filtrantes;

2° Le mode de renouvellement le plus avantageux des agents dépurateurs;

3° Le produit de la filtration en raison du nombre, de l'épaisseur et de la nature des couches filtrantes;

4° Enfin, le degré de pureté des eaux obtenues, suivant que leur vitesse à travers le filtre est plus ou moins grande.

L'action absorbante du charbon végétal sur les gaz et les matières organiques est très-limitée, et sa durée dépend du degré de pureté des eaux. Il en est de même du volume des matières qui se déposent à la surface du sable, et de l'adhérence qu'elles y contractent, de manière qu'il est difficile de fixer, en général, la période à assigner à l'obstruction d'un filtre.

Quand les eaux de Seine, par exemple, sont chargées de limon, il faut

[1] S'ils sont en tôle, il faut qu'elle soit enduite; on peut les faire en bois, ou même en poterie.

Digitized by Google

laver tous les jours, et même deux fois par jour, la couche supérieure en gravier du filtre du quai des Célestins, dont nous avons donné la description. Comme cette eau ne contient presque pas de matières organiques en dissolution, les dépôts se forment entre les couches de sable, et arrivent rarement jusqu'au lit de charbon.

Aux établissements où l'on laisse déposer et des eaux de Seine et des eaux de l'Ourcq, on observe que les dépôts varient de nature suivant les circonstances diverses qui affectent les cours d'eau alimentaires. Les matières, abondantes lors de chaque crue de la Seine, sont alors légères et peu adhérentes; lorsqu'au contraire la Seine descend à l'étiage, les matières deviennent assez rares, et par conséquent minimes en volume, mais elles sont tenaces et filantes.

Il ne suffit pas d'avoir reconnu par des essais le temps pendant lequel un filtre conserve la propriété dépurative : il faut encore disposer les couches de telle sorte que le renouvellement des diverses couches filtrantes puisse s'opérer avec facilité et promptitude. Il serait même désirable qu'on pût renouveler séparément chaque matière aussi souvent qu'il en serait besoin, sans toucher aux autres [1].

Dans la plupart des filtres que nous avons décrits, on est obligé d'enlever successivement chaque couche, parce qu'étant superposées on ignore, lorsque le filtre devient paresseux, quel est le lit qui est le plus obstrué. Dans le filtre à double courant de M. Zeni, cet inconvénient n'existe pas. Le lavage s'opère sur place, et par un courant dont la direction est opposée à celle que l'eau suit ordinairement pour se filtrer. Mais il nous paraîtrait à désirer que l'on constatât par des expériences l'efficacité de ce moyen, car il ne nous semble pas possible que ce lavage soit assez exact pour que le sable reste complétement exempt d'adhérence avec les substances déposées à la surface.

[1] Comme cette condition exigerait une trop grande surface filtrante, on se contentera d'avoir autant de filtres particuliers, plus un, qu'ils mettront de jours à s'obstruer. Si les filtres s'obstruent dans un jour, par exemple, il en faudra deux; dans deux jours, trois; dans trois jours, quatre, et ainsi de suite; de telle sorte que, dans la première supposition, on aura une surface filtrante double de celle jugée nécessaire pour assurer le service; dans la deuxième, elle n'aura que moitié en sus; dans la troisième, un tiers, etc. Nous pensons que lorsque les eaux seront le plus chargées les filtres se renouvelleront tous les trois jours, ce qui exigera quatre filtres pour en avoir trois en activité, c'est-à-dire une surface de filtre *d'un tiers* plus considérable que la surface filtrante toujours prête à fonctionner.

Digitized by Google

Le produit de la filtration dépend de la nature de l'eau, qui peut être plus ou moins trouble, de la composition du filtre, et de la charge mesurée par la différence de niveau entre la surface supérieure de l'eau dans le filtre et l'origine du robinet d'écoulement qui donne issue à l'eau filtrée. Nous avons commencé à ce sujet quelques expériences dans l'établissement de la Boule-Rouge, mais les circonstances ne nous ont pas permis de les continuer. Nous allons cependant rapporter ces essais, pour montrer ce qu'il serait convenable de faire.

Le filtre était formé par une caisse en grès de $1^m,18$ de longueur, $0^m,49$ de largeur, et $0^m,65$ de profondeur.

Un double fond en bois de $0^m,02$ d'épaisseur, percé de trous, laissait, au-dessus du fond de la caisse, un espace vide de $0^m,065$ de hauteur dans lequel se rendait l'eau filtrée, et d'où elle s'écoulait par un robinet.

Les couches filtrantes, au nombre de six, avaient une épaisseur totale de $0^m,365$; savoir :

La première et inférieure en gros sable et gravier;
La deuxième en sable moyen;
La troisième en grès pilé;
La quatrième en charbon pulvérisé;
La cinquième en grès pilé;
La sixième et supérieure en gros sable.

Leurs épaisseurs particulières étaient dans les rapports des nombres 4, 3, 3, 3, 2, 2.

L'eau tombait sur le filtre par un robinet semblable à celui du fond.

Après avoir disposé toutes les couches bien horizontalement, les avoir tassées successivement pour laisser le moins possible de vide entre elles, on mit le filtre en charge, c'est-à-dire qu'on remplit la caisse d'eau, afin que le mouvement descendant du liquide s'opérât ensuite sur toute la surface du filtre.

L'écoulement par deux robinets était réglé de manière que la caisse restât toujours pleine, ou plutôt que les couches filtrantes fussent toujours couvertes d'eau.

Dans les premières expériences, nous avons évalué quelle était la quantité d'eau qui pouvait se filtrer en rendant l'orifice inférieur assez grand pour débiter toute l'eau. Cet orifice était circulaire et avait un diamètre de $0^m,018$; l'eau, en sortant, ne le remplissait pas tout entier, et l'air

Digitized by Google

pouvait s'introduire, ce qui altérait sans doute les phénomènes de l'écoulement.

DATES des OBSERVATIONS.	DURÉE de L'ÉCOULEMENT.	QUANTITÉ D'EAU FILTRÉE.	QUANTITÉ D'EAU par minute.	QUANTITÉ D'EAU par minute et par mètre superficiel.	OBSERVATIONS.
Oct. 1828.	minutes.	litres.	litres.	litres.	L'eau était à 0m,62 au-dessus des couches filtrantes, ce qui donnait une charge de 0m,45 au-dessus de l'orifice inférieur d'écoulement.
25	42	266	6,33	10,95	
26	20	85	4,25	7,37	
27	20	74	3,70	6,40	
29	20	65	3,25	5,62	
30	20	65	3,25	5,62	

On voit que la quantité d'eau filtrée a diminué à mesure que le filtre s'est obstrué. Comme l'eau alimentaire était peu trouble, on doit regarder ce résultat comme un *maximum* qu'il est rarement possible d'atteindre, et ne compter, d'après l'expérience de plusieurs années, que sur 2 litres environ par minute et par mètre superficiel, ou 2,880 litres en vingt-quatre heures (0m,15).

Ce qu'il était important de calculer, c'était la perte de charge qui résultait du passage de l'eau à travers le filtre, c'est-à-dire la différence entre la charge effective et celle qui correspondait à la vitesse de l'eau par l'orifice d'écoulement.

Cette différence peut se mesurer facilement au moyen d'un tube recourbé qu'on introduit dans la boîte par un orifice percé près du fond. La hauteur à laquelle l'eau s'élève dans ce tube indique la charge qui pèse sur le fond, ou qui est employée à produire la vitesse d'écoulement de l'eau filtrée. La différence entre cette hauteur et celle du niveau de l'eau dans la caisse indique donc la charge employée à produire la filtration.

Il ne faut pas oublier que les expériences ne sauraient être exactes que tout autant qu'on établit dans les encoignures de la caisse des tubes de 5 à 6 lignes de diamètre, qui pénètrent jusqu'à l'intervalle ménagé entre le fond de la caisse et le plateau en bois qui soutient les couches filtrantes. C'est par ces tubes que s'échappe ou arrive l'air, lorsque cette capacité se remplit ou se vide.

Nous avons fait couler l'eau par un ajutage conique, et afin de bien

Digitized by Google

évaluer la surface de l'orifice, corrigée de l'effet de la contraction, nous avons rempli la caisse d'eau avant de composer le filtre. La charge étant de $0^{m},565$, le produit de l'écoulement a été de 105 litres en vingt-cinq minutes, ou de $0^{m.c.},00007$ par seconde.

La formule qui sert à calculer la dépense est

$$Q = m\omega\sqrt{2gH} = 4,43\,m\omega\sqrt{H}. \qquad (1)$$

Q étant la dépense d'eau par seconde, en prenant le mètre cube pour unité;

H la hauteur de la charge;

ω la superficie de l'orifice (diamètre $= 0^{m}018$);

m le coefficient de contraction,

on en tire $$m\omega = \frac{Q}{4,43\sqrt{H}};$$

et en substituant à la place de Q et de H les valeurs $0^{m.c.},00007$ et $0^{m},565$ fournies par l'expérience sus-relatée, on obtient

$$m\omega = 0,000021022;$$

d'où $$H = \frac{Q^{2}}{(4,43 \times 0,000021022)^{2}}. \qquad (2)$$

Cette formule nous servira à calculer les valeurs de H correspondantes à des dépenses observées.

Ayant fait recomposer le filtre, nous avons renouvelé l'expérience sur le produit de l'écoulement en conservant la même charge. Nous avons trouvé 67 litres en vingt minutes, ou

$$Q = 0^{m.c.}0,00005583.$$

Substituant dans la formule (2), on en conclut :

$$H = 0^{m},35941.$$

La charge effective étant de $0^{m},565$, il s'ensuit que la perte a été de $0^{m},20559$, employée à filtrer 67 litres en vingt minutes, sur une surface de $0^{m.q.},5782$, ou $5^{lit.},79$ par mètre superficiel.

Dans une autre expérience on a filtré, toujours avec la même charge, $78^{lit.},50$ en trente et une minutes; ce qui donne :

$$Q = 0^{m.c.},0004222...$$

et par suite

$$H = 0^{m},20534.$$

Digitized by Google

La charge effective étant $0^{m},565$, la perte a donc été de $0^{m},35966$, employée à filtrer $78^{lit.},50$ en trente et une minutes, sur une surface de $0^{m.c.},5782$, ou $4^{lit.},38$ par minute et par mètre superficiel.

En partant de la supposition qu'on ne filtrerait que 2 litres par minute et par mètre superficiel, ou 2,880 litres par vingt-quatre heures ($0^{po.d'eau},15$), on trouve que la perte de charge est de $0^{m},523$.

Dans cette même hypothèse, il faudrait 5,333 mètres de surface filtrante pour dépurer une distribution publique journalière de 800 pouces d'eau.

Et par conséquent, en admettant pour les cas où les eaux de la Seine sont chargées de limon, la nécessité d'avoir un quart des filtres en chômage et en nettoyage, il faudrait s'assurer d'une surface de filtres de 7,000 mètres carrés (environ 2/3 d'hectare).

Nous croyons devoir compléter cette Notice sur le filtrage des eaux en petit, par la description sommaire des appareils employés aujourd'hui dans les fontaines marchandes de Paris. On appelle ainsi les établissements où l'eau filtrée est vendue à des porteurs d'eau qui la transportent à domicile, dans des tonneaux conduits par un homme ou par un cheval.

Les deux Compagnies qui ont soumissionné le filtrage se servent de vases clos pour utiliser la pression. Ceux de la Compagnie française sont disposés de la manière suivante ; fig. 16 : l'eau naturelle arrive par le robinet 1 et sort filtrée par le robinet 4, qui est en communication avec le réservoir de l'établissement. Les robinets 2 et 3 sont fermés pendant le filtrage; nous expliquerons tout à l'heure leur usage. L'eau, en traversant un premier compartiment rempli d'éponges serrées, s'y dégrossit et arrive à peu près propre dans le compartiment qui contient du grès pilé ; là elle abandonne les matières les plus ténues qui ont échappé aux éponges, et passe dans un dernier compartiment rempli de gravier et de charbon, dont nous ne comprenons pas beaucoup l'utilité, attendu que le charbon est trop rarement renouvelé pour pouvoir absorber les miasmes contenus dans l'eau. Ces divers compartiments sont séparés par des disques métalliques, percés de trous assez fins pour ne pas laisser échapper les matières pressées entre leurs surfaces. Voici comment s'opère le nettoiement : la plus grande partie de la vase s'arrêtant dans les éponges, ces matières ont besoin d'être nettoyées plus souvent que les autres, et on peut le faire sans démonter l'appareil, en changeant le sens du mouvement de l'eau au moyen d'une simple manœuvre de robinet ; on ouvre un robinet de dégorgement *d* dans le compartiment au-dessus des éponges et le robinet 3, on ferme le robinet 1, ce qui détermine dans l'appareil un courant en sens inverse qui entraîne une partie des impuretés déposées dans les éponges, et leur permet de fonctionner de nouveau pendant quelque temps. Quand on a répété cette opération un certain nombre de fois, on est obligé de démonter la partie supérieure du filtre pour nettoyer les éponges d'une manière complète. Enfin, beaucoup

Digitized by Google

plus rarement on démonte le compartiment qui contient le grès pilé. Un de ces appareils, de 0m,75 de diamètre, donne, quand il est nettoyé, de 12 à 15m.c. à l'heure. Nous ne nous dissimulons pas ce que ce renseignement a de vague et d'incomplet, puisque nous ne pouvons donner la pression sous laquelle ce résultat a été obtenu. Du reste, ce procédé de filtrage n'est qu'une modification de systèmes déjà connus.

Celui de la Compagnie Souchon présente une idée nouvelle, par la matière employée à l'opération. C'est de la laine tontisse, c'est-à-dire provenant de la tonte des draps. Cette matière se lave facilement et à grande eau, prend la consistance d'une bouillie, qui lui permet de remplir exactement les compartiments qui lui sont destinés, où on la tasse et la serre entre des cercles garnis d'un grillage. La vase s'arrête dans la partie supérieure de la couche filtrante, dont elle n'occupe guère que 1 ou 2 centimètres, de sorte que quand le filtre est obstrué, il suffit d'ouvrir l'appareil (fig. 17), et d'enlever une très-petite couche de laine. Quand plusieurs nettoyages successifs ont trop considérablement réduit l'épaisseur de la couche filtrante, on remplace la laine par d'autre laine convenablement lavée ; car cette matière, rendue imputrescible par un tannage préalable, peut servir indéfiniment. Quant à l'appareil, quelques mots suffiront pour faire comprendre la disposition du dernier système adopté. Il est à double effet, c'est-à-dire qu'il y a deux surfaces filtrantes, l'une en haut et l'autre en bas ; il est monté sur des tourillons qui permettent de le renverser, au moment du nettoiement. L'eau entre par l'axe de rotation A, se divise dans le tuyau vertical DC, arrive sur les deux surfaces filtrantes, qu'elle traverse pour se rendre dans le compartiment commun B et sortir par le tuyau V; deux robinets purgeurs appliqués sur les plaques de fond, et débouchant à l'extérieur, permettent de donner à l'eau un mouvement en sens inverse qui opère un nettoyage partiel, et retarde le moment où l'on est obligé d'enlever une partie de la couche de laine. Un châssis en fonte recouvre le dernier grillage métallique, et est pressé par une vis de pression maintenue dans une traverse fixe. Cet appareil donne environ 180m par vingt-quatre heures, avec une charge assez faible.

Les deux systèmes de filtrage que nous venons de décrire sont brevetés. J. D.

Digitized by Google

DISTRIBUTION D'EAU DE TOULOUSE.

EXTRAIT DU MÉMOIRE DE M. D'AUBUISSON [1].

Filtres. — L'eau que ces machines élèvent pour les fontaines leur est fournie par les filtrations qui s'opèrent à l'aide des travaux que nous avons faits pour cet objet dans le banc d'alluvion que la rivière a déposé, depuis une cinquantaine d'années, au pied du cours Dillon, et qui est principalement composé de gravier et de sable entremêlés souvent de cailloux, et, en quelques endroits, d'un limon vaseux ; son étendue et sa forme sont indiquées à la Pl. XIX, fig. 18.

M. Abadie, dans son premier projet, celui où il établissait ses machines sur le bord du canal de fuite du moulin du château, avait entouré leurs puisards d'une circonvallation de sable et de gravier contenue dans des cases de maçonnerie ; il pensait que les eaux du canal, en traversant cette masse filtrante, y déposeraient leurs saletés et arriveraient claires à ses pompes. Par une disposition ingénieuse, qui était permise par les localités, il pouvait faire traverser, mais en sens contraire, cette même masse par les eaux de la rivière ; en le faisant, lorsqu'elles étaient claires, il espérait nettoyer ses sables, et sans déplacement.

A ce mode naturel de clarification, M. Virebent proposa de substituer celui dont on faisait usage, depuis plusieurs années, dans les appareils qui fournissaient aux habitants presque toute l'eau potable. Ici l'eau s'épurait en traversant, non horizontalement une masse de sable, comme dans le projet de M. Abadie, ni de haut en bas, comme dans les fontaines filtrantes ordinaires, mais de bas en haut, et à plusieurs reprises.

[1] M. d'Aubuisson, ingénieur en chef des mines, a publié, sur la distribution d'eau qu'il a fait établir à Toulouse, une Notice pleine d'intérêt (*Annales des ponts et chaussées*, 2me semestre 1838). Nous croyons devoir en extraire ce qui est relatif aux filtres naturels, parce que ces filtres ont eu un succès complet et que ce système nous paraît susceptible de recevoir ailleurs d'utiles applications.

Dans la première partie de sa Notice, M. d'Aubuisson fait connaître que l'eau de la Garonne est élevée dans un château d'eau, au moyen de deux machines placées sur le bord du fleuve et pouvant élever chacune 100m d'eau. J. D.

Digitized by Google

Ces projets furent soumis à l'Académie des sciences, qui nomma, pour les examiner, une Commission dont M. Maguès faisait partie. Elle fit des observations dans différentes clarifications de la ville, et il en résulta que lorsque les eaux de la Garonne sont très-sales, on ne peut les purifier complétement qu'en les faisant passer successivement à travers 4 couches de gravier et de sable, ayant 4 pieds d'épaisseur chacune; et que $1^{m.q.}$,00 de ces couches, supposées placées les unes sur les autres, ne clarifie que $20^{m.c.}$,00 en 24 heures; c'est un pouce d'eau. D'après ces résultats, qui furent exposés en détail dans le rapport de M. Maguès, l'Académie conclut à ce que les moyens présentés par MM. Abadie et Virebent n'étaient pas suffisants pour clarifier 200 pouces d'eau.

M. Maguès penchait pour les filtres naturels; et lorsqu'on projetait de s'établir à la pointe de l'île de Tounis, il croyait qu'un vaste puits qui y serait creusé fournirait une quantité d'eau considérable; cette opinion lui était suggérée par les observations qu'il avait faites sur le produit des puits de cette île, produit toujours abondant et limpide.

Aussi, lorsqu'on se porta à Saint-Cyprien, il s'empressa de demander qu'on ouvrît, pour essai, une fosse dans le banc d'alluvion qui est au-dessous du cours Dillon; elle fut commencée près de ce cours.

Quelque temps après, M. Chaumont, qui se chargea de ce qui concernait les filtres, la fit porter plus près de la rivière (à la tête du premier filtre), Pl. XIX, fig. 18. Il lui donna 3^{m},10 de profondeur, et 14^{m},00 de long sur 8 de large dans le bas. A l'aide de vis d'Archimède, il en épuisait l'eau; il observait ensuite le temps qu'elle mettait à s'élever à une certaine hauteur, et il en concluait le produit de la masse filtrante circonvoisine; cette eau était d'ailleurs très-belle. Trois expériences qu'il fit de cette sorte le portèrent à penser qu'on obtiendrait les 200 pouces d'eau voulus, à l'aide d'une excavation de forme elliptique, ayant dans le haut 33^{m},00 de long et 23^{m},00 de large, et dont le fond serait à 1^{m},00 au-dessous du niveau des basses eaux de la rivière. La Commission vit bien qu'il n'y avait que peu de rapport entre le produit obtenu dans ces expériences, où le terrain tout imprégné d'eau, qui entourait l'excavation, était comme un réservoir qui les y versait dès sa mise à sec, et le produit que l'on aurait lorsque ce même terrain, desséché par un écoulement continu, ne fournirait plus dans le bassin, en un certain temps, que l'eau qui aurait pu filtrer durant ce temps à travers le massif de terre qui le séparait de la

Digitized by Google

rivière. Toutefois, elle adopta la proposition de M. Chaumont, sauf à augmenter par la suite l'étendue de l'excavation, jusqu'à ce que les besoins des fontaines fussent satisfaits.

Premier filtre. — Pour commencer ce travail, il fallut attendre l'entière confection des canaux de fuite, afin de procurer un écoulement aux eaux qui allaient arriver en abondance dans les profondes excavations faites près de la rivière et au-dessous de son niveau.

A partir de la tête de ces canaux, on ouvrit, dans le banc d'alluvion, un fossé que l'on poussa jusqu'au lieu où devait être le bassin destiné à recevoir le produit des filtrations, et on donna à ce bassin la forme et les dimensions d'abord projetées.

Lorsqu'il fut terminé, on jaugea à diverses reprises, et la rivière étant à différentes hauteurs, le produit des filtrations; il ne fut que de 56 à 73 pouces d'eau, et moyennement de 60; d'ailleurs, cette eau était toujours limpide, quel que fût l'état de la rivière.

Ainsi, il était évident qu'on pouvait compter sur la qualité des eaux, et établir définitivement la conduite qui devait les mener aux puisards des machines hydrauliques. On avait d'abord projeté d'employer des tuyaux en poterie; mais on trouva plus convenable de faire usage de ceux en fonte. On leur donna $0^{m},305$ de diamètre; on les posa au fond du fossé creusé pour les recevoir, et dans la direction marquée *abd* sur la fig. 18. Au point où cette conduite joignit le cours, on établit un petit réservoir ou cale, pour retenir les sables que l'eau pouvait amener.

Quant à la quantité, 68 pouces étaient manifestement insuffisants; ce n'était pas le tiers de ce qu'il fallait; en conséquence, on prolongea le filtre dans le banc d'alluvion, jusqu'à lui donner $108^{m},00$ de long, sur une largeur moyenne de $10^{m},00$ au fond; il y avait ainsi $1080^{m.q.},00$ de superficie. Mais l'augmentation du produit fut loin d'être proportionnée à l'augmentation en étendue : le prolongement avait été creusé dans un terrain comme desséché par la première excavation; elle recevait presque toutes les filtrations qui avaient lieu dans ce terrain, et on n'en trouva que peu de nouvelles; en résultat, d'après divers jaugeages, on obtint à peine une moitié en sus de ce qu'on avait déjà, et l'étendue avait été plus que quadruplée.

Toute l'excavation fut entourée d'une forte digue qui s'élevait à $3^{m},60$ au-dessus du terrain environnant, et à près de $6^{m},00$ au-dessus des moyen-

Digitized by Google

nes eaux de la rivière ; elle la mettait ainsi à l'abri des hautes inondations.

Ce filtre donna d'abord une fort bonne eau ; mais, dès la seconde année, une végétation de plantes aquatiques commença à s'y établir, et à altérer la qualité de ses produits. L'année suivante, le mal empira ; les rayons du du soleil, traversant sans obstacle une couche d'eau mince et parfaitement transparente, atteignaient le fond dans toute leur intensité ; ils y développaient une forte chaleur, laquelle était encore augmentée par l'effet et la réverbération des bords et des digues. Par suite, la végétation y acquit une vigueur extrême ; les divers moyens employés pour la détruire furent sans effet ; des reptiles s'y joignirent, et ces plantes, ces animaux, en mourant et se putréfiant dans une eau tiède, la rendaient très-mauvaise. Il fallut se presser de porter un remède au mal ; encore un an, et il eût été absolument intolérable. L'eau était très-bonne en entrant dans le filtre, et vicieuse lorsqu'elle en sortait : la forte chaleur et la lumière en étaient la cause manifeste ; il fallait l'attaquer, on ne le pouvait qu'en couvrant le filtre. J'émis l'idée ; on remplit le fond avec des cailloux, et puis on le combla.

Ce fond fut en effet nettoyé aussi bien que possible ; on établit ensuite, dans sa longueur, un petit aqueduc en briques simplement superposées et sans mortier ; puis on remplit le bassin de gros cailloux bien lavés, jusqu'à la hauteur des moyennes eaux de la rivière. De cette sorte, les filtrations qui pénétraient dans l'excavation (et c'étaient les mêmes qu'avant le remplissage), coulant dans les interstices des cailloux et des briques, ainsi que dans l'aqueduc, se rendaient, sans obstacle sensible, et par conséquent sans diminution de quantité, jusqu'à l'entrée de la conduite en fonte, tout comme si le bassin fût resté entièrement vide et découvert. Sur les gros cailloux on en étendit de plus petits, puis une couche de gravier, et l'on finit par combler le creux en abattant les digues ; dessus, on sema du gazon. L'ancienne prairie, à la surface du banc d'alluvion, fut ainsi rétablie dans son entier. Le filtre qui est au-dessous, dérobé aux yeux du public, ignoré en quelque sorte de lui, est maintenant à l'abri des effets de la malveillance et de la manie destructive des enfants ; il n'existe plus de frais de garde et d'entretien. Un grand regard, placé en tête, au-dessus du point où l'eau entre dans la conduite en fonte, permet d'y descendre et de visiter cette partie, qui est la plus importante.

Depuis qu'il a été ainsi disposé, la qualité de ses eaux s'est non-seule-

Digitized by Google

ment rétablie, mais encore améliorée; la limpidité et la saveur en sont parfaites. Dans le fort de l'été, lorsque presque toutes les eaux de nos contrées ont une odeur ou un goût plus ou moins sensible, celle-ci a toujours été trouvée, par ceux qui sont descendus dans le regard, vive, bonne et fraîche comme de l'eau de montagne. Coulant et séjournant quelque temps à $4^m,00$ sous terre, et à $40^m,00$ de la rivière, elle prend une température qui ne varie qu'entre des limites assez rapprochées : dans l'été, elle n'a pas porté le thermomètre (centigrade) au-dessus de 17°; et, dans le long et rigoureux hiver de 1830, après 25 jours de fortes gelées, et le gel ayant pénétré à plus de $1^m,00$ au-dessous de la superficie du terrain qui la recouvre, elle n'a fait descendre le thermomètre qu'à 8°; avantage précieux : fraîche en été, elle présente une boisson agréable à sa sortie des fontaines; chaude en hiver, elle garantit nos conduites des effets de la gelée.

La dépense s'élève, pour le filtre proprement dit fouilles, à. . . .	14,105f
Coupures à l'effet de faciliter les filtrations, avec les cailloux dont elles sont remplies, pl. XIX, fig. 18.	4,344
Conduite en fonte.	14,127
Remplissage en cailloux, et comblement.	12,096
TOTAL.	44,672f

Aujourd'hui que nous sommes éclairés par l'expérience, le filtre, tel que nous l'avons, s'il était à faire, ne nous coûterait pas la moitié de cette somme.

Deuxième filtre. — Mais enfin, cet excellent filtre ne fournissait pas 100 pouces d'eau, et il en fallait plus de 200; on dut en établir un second.

Le mieux est l'ennemi du bien; nous l'éprouvâmes dans cette circonstance. Au lieu de faire le nouvel appareil semblable au premier, on dit : Celui-ci donne trop peu d'eau, rapprochons-nous de la rivière, et nous en aurons davantage. Un des hommes de l'art appelés à cette discussion, après avoir rappelé combien les puits creusés près de la rivière, notamment ceux de Tounis, sont abondants et en eau toujours claire, proposa d'en ouvrir plusieurs sur le bord du banc d'alluvion, et de les mettre en communication entre eux et avec le château-d'eau. Cette idée fut adoptée, et un projet auquel elle servit de base fut agréé par le Conseil municipal le 3 février 1827, et puis approuvé par l'autorité supérieure.

Digitized by Google

En conséquence, en aval du premier filtre, et à 10^{m},00 environ de la rivière, on ouvrit et poussa une tranchée *cd* jusqu'à la rencontre du quai, fig. 18. Sur le fond, on éleva onze tours ou puits en brique, mais sans mortier, jusqu'à 1^{m},00 ou 1^{m},30 au-dessous de la surface du sol, et on les recouvrit de plaques en fonte : on joignit leur pied par des tuyaux, lesquels reposaient sur le fond de la tranchée : on jeta du gravier par-dessus, et le reste de l'excavation fut comblé avec la terre qu'on en avait retirée. A l'extrémité, contre le mur du quai en *d*, on établit une cale qui reçut aussi l'eau venant du premier filtre : les deux eaux s'y réunissaient et se rendaient ensuite, de concert, aux puisards des machines, par la conduite déjà posée dans le canal de prise d'eau.

Les résultats furent peu satisfaisants, et ne répondirent pas à notre attente. On n'eut pas plus de 60 à 80 pouces d'eau, et elle fut fort médiocre. On avait traversé une bande de terrain vaseux; et, malgré le soin qu'on prit de bien luter les tuyaux dans cette partie, malgré le gravier qui y fut mis en grande quantité, un léger goût de vase se communiqua à l'eau. Se trouvant trop près de la rivière, elle en conserva trop la température : dans l'hiver dernier, sa chaleur a diminué jusqu'à n'être que 2° du thermomètre, et dans l'été elle va à plus de 21°. Cette haute température donne lieu, dans l'intérieur du filtre, à une végétation de petites plantes aquatiques et chevelues; leurs débris, emportés par le courant, sont quelquefois si déliés, que, malgré les toiles métalliques employées à les retenir, l'eau puisée en de certains moments est chargée de petits filaments ou points roussâtres, qui lui donnent un aspect peu agréable. Enfin, les tuyaux de fonte, placés au fond du filtre sur toute sa longueur, continuellement plongés dans une eau presque stagnante, s'y oxydent (rouillent) fortement; l'oxyde donne aux filets végétaux la couleur rousse que nous venons de mentionner, et, se mêlant à l'eau en particules imperceptibles, il finit par salir les marbres sur lesquels elle coule.

Ces mauvaises qualités, assez sensibles lorsque cette eau est prise isolément, le sont beaucoup moins quand elle est mêlée avec celle du premier filtre; mais il n'en est pas moins vrai qu'elles altèrent l'excellente qualité de celle-ci. On cherchera à remédier au mal, d'abord en enlevant les tuyaux de fonte que l'on remplacerait par un simple cailloutage; et, si cela ne suffisait pas, il faudra bien se résoudre à abandonner complétement ce second appareil, malgré une dépense de 27,055 francs à laquelle il a donné lieu.

Digitized by Google

Troisième filtre. — Cette considération, jointe à l'insuffisance du produit des deux filtres (car dans l'automne de 1828 et dans l'hiver suivant, où la rivière a été, il est vrai, beaucoup plus basse que d'ordinaire, ce produit ne s'est pas élevé à plus de 140 pouces, et il en faut de 200 à 250); ces considérations, dis-je, ont porté l'administration municipale à entreprendre un troisième filtre; l'exécution en a été décidée le 17 janvier 1829.

Mais cette fois, mettant à profit les leçons d'expériences assez chèrement payées, on ne se hasarda plus dans de nouveaux essais, et l'on résolut de faire le nouvel appareil exactement semblable au premier, c'est-à-dire de le baser entièrement sur les mêmes principes.

On ouvrit, en conséquence, une tranchée *efghi* dans le banc d'alluvion, en amont de l'ancien filtre, et à un assez grand éloignement pour ne pas lui enlever les filtrations qu'il recevait déjà; elle a été menée parallèlement au bord de la rivière, à une distance de 30^{m},00 à 50^{m},00, jusque vers l'extrémité du banc; elle prend ainsi toutes les eaux qu'il peut fournir, et elle aura 250^{m},00 de long. Le fond en sera à 1^{m},14 au-dessous des basses eaux de la rivière.

Sur ce fond, on a établi une petite galerie consistant en deux murs de briques simplement superposées, et recouvertes en dalles de pierre : les dimensions en ont été réduites le plus possible (1^{m},50 de hauteur et 0^{m},60 de largeur), de manière à ne laisser que ce qui est strictement nécessaire au passage d'un jeune homme. L'espace compris entre la galerie et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés : au-dessus, on répand une couche de gravier de 0^{m},66 d'épaisseur; puis on comble avec de la terre sablonneuse extraite de la fouille, et on sème du gazon à la superficie, fig. 19.

Les eaux qui, en traversant la masse filtrante comprise entre la rivière et cette excavation, parviennent au fond de celle-ci, sont conduites vers le quai par une rigole ou nouvelle tranchée, entièrement semblable à la première, garnie comme elle, et qui n'en est que le prolongement. Elle atteint le quai près de la cale du premier filtre *b* : ses eaux y sont reçues dans une autre cale pratiquée à côté, d'où elles traversent le quai dans un aqueduc *bkl* maçonné, lequel, se continuant dans la *rue Basse*, va aboutir au château d'eau.

Cette direction, tracée par M. de Montbel, lequel a eu la principale part dans la confection du projet, avait pour but de rendre le troisième filtre

Digitized by Google

entièrement indépendant des deux autres; et cela par suite du principe qui a présidé à l'établissement de notre système de fontaines, à l'effet d'assurer la continuité de leur service, et qui consiste à avoir, pour les parties principales (comme les machines), deux appareils entièrement distincts, de manière que l'un puisse toujours fournir pendant que l'autre serait en réparation.

Au moyen des communications établies entre les deux cales, à l'aide de vannes que l'on ouvre et ferme à volonté, les eaux du premier et du troisième filtre, qui d'ordinaire se rendront au château d'eau par deux voies différentes, peuvent être toutes jetées ou dans l'une ou dans l'autre de ces voies, ce qui donne encore une plus grande facilité pour les réparations.

Enfin, M. Castel, aujourd'hui ingénieur des eaux de la ville, eut l'idée de pousser l'aqueduc maçonné jusqu'au *canal de fuite*, un peu en aval du château d'eau, en *m*, fig. 18, et de commencer les travaux en partant de ce canal, dont le radier était de $0^m,56$ plus bas que celui de l'aqueduc. Dès lors s'écoulaient tout naturellement les eaux que l'on allait trouver en abondance en creusant une tranchée de $700^m,00$ de long, à plus de $2^m,00$ au-dessous du niveau de la rivière, et dans un banc de sable déposé sur son bord. Sans la communication proposée, une somme de 20,000 francs n'aurait pas suffi à leur épuisement; avec elle, les constructions de l'aqueduc et de la galerie, se faisant sur un sol à sec, s'exécutaient mieux et avec plus de facilité; et surtout on avait le très-grand avantage, dans le cas où l'on aurait quelque travail, réparation ou récurement à faire au filtre, et par conséquent où l'on en salirait les eaux, de les jeter directement dans le canal, sans leur faire traverser les puisards des machines, et, par suite, sans être obligé d'arrêter le service des fontaines pour qu'elles ne donnassent pas de l'eau sale.

Ce précieux avantage, qu'on n'avait pas aux deux premiers filtres, a pu leur être procuré à l'aide d'un second petit aqueduc mené directement à la cale où se joignaient leurs eaux. Par une disposition ingénieuse, ces eaux, soit seules, soit mêlées avec celles du troisième filtre, peuvent être jetées à volonté ou dans le château-d'eau ou dans le canal de fuite.

Ces divers travaux du troisième filtre ont coûté 67,871 fr.

La quantité d'eau qu'on a obtenue est à peu près égale à celle des deux premiers pris ensemble.

Quant à la qualité, l'eau en est parfaitement bonne et limpide, tant que

Digitized by Google

la Garonne demeure dans son lit; mais dans les crues, lorsqu'elle déborde et qu'elle recouvre le terrain sous lequel sont les excavations, ses eaux y pénètrent, soit par quelque fissure encore inaperçue, soit en traversant des terres non suffisammeut tassées, et elles en sortent un peu louches. Heureusement alors le premier filtre, travaillant alors sous une forte charge, fournit suffisamment au service, et l'on peut se passer de ces eaux; elles sont envoyées directement dans le canal de fuite.

En temps ordinaire, le seul reproche qu'on puisse faire à ce filtre, ainsi qu'au premier, c'est de n'être pas entièrement exempt, dans son intérieur, d'une végétation souterraine : les brins de byssus qui s'en détachent sont souvent portés par les eaux jusqu'à la cuvette du château d'eau, où il faut employer des toiles métalliques pour les retenir. S'il était nécessaire, on les arrêterait encore sous terre, par des bâtardeaux composés de gros morceaux de charbon, et dont la place est réservée dans l'aqueduc qui amène les produits du troisième filtre ; l'eau, en les traversant, y déposerait aussi les germes de corruption qu'elle aurait pu prendre dans son cours. Au reste, rien n'a encore décelé ces germes; et même l'inconvénient des filaments végétaux, qui était grave dans l'origine, a beaucoup diminué; il est absolument insensible dans l'eau qui sort du château d'eau.

Par les trois appareils de filtrage que nous venons de mentionner, nous tirons tout le parti possible du précieux don que la nature nous a fait en déposant un banc de sable sur le bord de la Garonne, en face de notre château d'eau. Nous y prenons toute l'eau qu'il peut fournir, en joignant le maximum de qualité au maximum de quantité, qu'on me permette ce langage mathématique; nous en aurons toujours les 200 pouces qui nous sont nécessaires. Elle est d'une limpidité parfaite; et, dans ses voies souterraines, elle a repris la bonté et la fraîcheur qu'elle avait au sortir des hautes montagnes dont elle est descendue en presque totalité. De tels avantages sont inappréciables; ils sont particuliers à notre système de fontaines, et ils lui assurent une supériorité incontestable sur celui de presque toutes les autres villes. Où trouvera-t-on ailleurs plus de cent bouches versant sans discontinuité une eau complétement clarifiée? et le mode de clarification n'est-il pas réellement admirable par son efficacité, comme par la manière toute naturelle dont il s'opère? Alors même que le fleuve qui traverse nos murs ne semble rouler qu'une masse de boue, l'eau qui s'en sépare pour les fontaines, déposant sur la plage toutes les impuretés qui

Digitized by Google

la souillaient, pénétrant dans des milliers de canaux imperceptibles, se rend d'abord dans les fosses que nous lui avons préparées ; et puis, descendant toujours, ruisselant à travers des cailloux, elle arrive, limpide comme du cristal, aux puisards des pompes, qui l'élèvent et la versent dans une cuvette, d'où elle va jaillir sur nos places et se répandre dans toutes nos rues.

Mais si, par un malheur que rien d'ailleurs ne présage, dont tout, au contraire, éloigne la crainte; car la rivière, dans son régime actuel, tend à agrandir plutôt qu'à diminuer le banc d'alluvion qu'elle nous a donné et qui nous procure ces avantages; si enfin ce banc nous était enlevé, si les petits canaux afférents contenus dans cette masse sablonneuse, et qui, en retenant les matières terreuses, cause de la saleté de l'eau, la livrent entièrement pure, venaient à s'obstruer, ainsi qu'il arrivait aux clarifications autrefois usitées dans la ville; si ces canaux venaient à s'élargir au point de laisser passer quelques filets d'eau trouble, nos fontaines seraient-elles privées du bienfait des eaux filtrées? Non, alors nous aurions recours à une clarification artificielle. Pour savoir ce qui pourrait être fait à cet égard, dès l'origine, la Commission des fontaines invita M. l'architecte Raynaud, qui avait fait construire plusieurs des clarifications en usage dans la ville, à présenter un projet à cet égard. Il s'en occupa, et, par une disposition bien entendue, il réduisit de moitié l'espace occupé par les clarifications ordinaires. Il résulte de ses plans et devis, qu'un filtre artificiel, que l'on pourrait établir autour du château-d'eau et le long du Cours, occuperait un espace de 5 mètres carrés et coûterait 500 francs par chaque pouce d'eau clarifiée; sur ces bases, et le cas échéant, on proportionnerait la grandeur d'un tel filtre aux besoins et aux désirs de la ville.

Deux de nos huit pompes (dont le diamètre serait porté de $0^m,27$ à 0^m48) prendraient les eaux de la rivière et les jetteraient sur le filtre; après leur purification, elles seraient reprises par les six autres pompes (conservées dans leur état actuel), pour être versées dans la cuvette existante. Ces ouvrages n'exigeraient pas une dépense de 150,000 francs; mais on aurait les frais d'un grand entretien annuel, et l'on ne pourrait pas se promettre d'avoir des eaux pareilles à celles dont nous jouissons maintenant, fraîches en été, et comme chaudes en hiver[1].

[1] Nous ajouterons que depuis que nos filtres sont en activité, et il y a quatorze ans pour le

Digitized by Google

Résumant les dépenses faites pour obtenir et élever 200 pouces d'eau clarifiée, on a pour les canaux d'amenée et de fuite. 169,753f
Château d'eau 91,656
Machines hydrauliques 105,897
Filtres. 139,598

TOTAL. 506,904f

premier, douze pour le second et neuf pour le troisième, on ne s'est aperçu d'aucune diminution dans la qualité et la quantité de leurs produits : la qualité se serait plutôt améliorée, et pour la quantité, on le répète, on n'a aucune preuve de diminution ; le service se fait maintenant comme il se faisait d'abord.

Digitized by Google

Digitized by Google

VOCABULAIRE[1].

AIR. L'air atmosphérique est un fluide éminemment élastique et compressible qui enveloppe notre globe. Son poids est 770 fois plus petit que celui de l'eau, sous le même volume. Ainsi, un litre d'eau pesant 1000 grammes, un litre d'air pèserait à $1^{gr.},30$. La pression moyenne de l'air à la surface de la terre et au niveau de la mer est égale à une colonne de mercure de $0^m,76$ de hauteur, ou à une colonne d'eau de $10^m,336$. Elle est due à une colonne d'air de $7958^m,726$, formant la hauteur présumée de l'atmosphère.

En vertu de sa légèreté spécifique, l'air se porte au sommet le plus élevé des sinuosités des conduites, et présente un obstacle au cours de l'eau : c'est lui qui agit dans l'aspiration et le refoulement des pompes aspirantes et foulantes.

AJUTAGE. Un ajutage est un tuyau cylindrique, ou conique, ou composé d'un cylindre et d'un cône, qu'on applique à l'ouverture des vases. Les ajutages exercent, d'après leur forme, une influence sur le produit de l'écoulement des liquides.

Si le liquide s'écoule par un orifice en mince paroi, le résultat de l'expérience, comparé à celui de la théorie prise pour unité, donne $0^m,62$ pour le produit de l'écoulement.

Avec un tuyau cylindrique qui aurait une longueur égale à trois fois le diamètre de l'orifice, le résultat peut être porté de $0^m,62$ à $0^m,82$.

Avec un ajutage conique dont le diamètre inférieur de la petite base serait 1, celui de la grande base $1^m,24$, et la distance entre les deux bases du cône tronqué $0^m,75$, on peut obtenir un écoulement qui irait à $0^m,90$. (*Voyez* ÉCOULEMENT DE LIQUIDES, VEINE FLUIDE.)

AQUEDUC. Ouvrage en maçonnerie, destiné à porter l'eau d'un point à un autre. Les aqueducs sont apparents ou souterrains.

Les premiers sont composés de trumeaux ou pieds-droits et d'arcades, au-dessus desquels se trouve le canal qui renferme l'eau. Les seconds peuvent être voûtés ou simplement recouverts par des dalles.

Le canal proprement dit doit, dans tous les cas, être enduit sur ses trois faces mouillées d'un ciment très-dur.

BACHE. Sorte de cuvette, ordinairement en bois, où vient se rendre l'eau que presse une pompe aspirante, et où elle est reprise par d'autres pompes pour l'élever de nouveau.

On donne encore ce nom à tout réservoir qui communique avec un aqueduc, et d'où partent des conduites de distribution.

BASSIN. On donne ce nom à tout réservoir de quelque étendue, destiné à recueillir les eaux.

Les bassins qui décorent nos jardins et servent aux arrosements sont le plus sou-

[1] Ce Vocabulaire est extrait de l'ouvrage de M. Genieys.

Digitized by Google

vent de forme circulaire. Leur étendue dépend de celle du terrain dont on peut disposer et de l'abondance des eaux qui doivent les alimenter ; car il importe, pour l'agrément et la solidité, que la capacité soit toujours à peu près remplie jusqu'aux bords. Une profondeur de 4 à 6 décimètres (15 à 22 pouces) suffit ordinairement à tous les besoins. Le fond et les côtés se font quelquefois en glaise, en terre franche ou en plomb ; mais les bassins en ciment sont généralement préférés, quand ils n'ont pas une grande étendue.

BATTE. Instrument en bois, qui sert à battre et à comprimer le sable dans les moules.

On l'emploie également pour modeler les lames de plomb et leur faire prendre différentes formes.

BOULON. Petit cylindre de fer, terminé à une extrémité par une tête carrée, faisant saillie sur le corps du boulon, et fileté à l'autre extrémité pour recevoir un écrou.

Au lieu d'un filet de vis, l'extrémité du boulon est quelquefois simplement percée d'un trou, et l'écrou est alors remplacé par une clavette.

BRIDE. Bande de fer ayant la forme d'une couronne circulaire, percée de plusieurs trous.

En introduisant des boulons dans les trous correspondants de deux brides, et serrant les écrous, on obtient une force de pression contre le corps placé entre ces brides.

C'est par ce moyen qu'on réunit quelquefois les tuyaux de conduite en fonte.

On appelle bride fixe celle qui fait corps avec le tuyau, et bride mobile, ou fausse bride, celle qui en est isolée. On ne se sert des brides de cette dernière espèce que pour réunir les tuyaux de plomb, ou bien pour boucher un tuyau à bride au moyen d'une rondelle.

CANAL. Le lit d'une rivière ou d'un ruisseau que la nature a formé pour donner un écoulement aux eaux pluviales ou de source.

Ce mot se dit plus particulièrement aujourd'hui d'un lit artifiel qu'on creuse, soit pour établir une navigation intérieure, soit pour conduire des eaux et en régler la pente ou la vitesse.

CASCADE. Nom qu'on donne à toute chute d'eau naturelle ou artificielle.

CHAPE. On appelle chape, en moulerie, l'enveloppe du moule ; il existe un vide entre la chape et le noyau qui est destiné à la matière.

Les chapes des moules peuvent être en terre ou en sable, et recevoir plus ou moins de préparation.

CHARGE. La vitesse de l'eau qui s'échappe par une ouverture faite à un vase qui contient un liquide est produite par la pression d'une colonne d'eau qui aurait pour base l'orifice, et pour hauteur la différence de niveau entre le centre de l'orifice et la surface du liquide.

C'est cette hauteur qu'on appelle la *charge*.

Dans l'écoulement de l'eau par un tuyau de conduite, il faut considérer la *charge*

Digitized by Google

ou *pression* qui a lieu à l'orifice par lequel l'eau est introduite dans le tuyau ; la différence de niveau entre le centre de cet orifice et le centre de l'autre orifice extrême par lequel l'eau s'écoule, qui, suivant qu'elle est positive ou négative, rend plus énergique ou plus faible l'écoulement de liquide ; enfin, la charge qui s'exerce sur l'orifice extrême en sens contraire du mouvement de la veine fluide qui s'échappe, lorsque l'eau se répand, par exemple, dans un bassin au-dessous de la surface de l'eau dans ce bassin. L'action de ces trois charges, modifiée par la résistance des parois du tuyau, des coudes, tant horizontaux que verticaux, de l'air, etc., détermine la vitesse de l'eau, laquelle peut se mesurer, ou par l'espace parcouru dans l'unité de temps, ou par la hauteur d'où il faudrait que le liquide tombât pour acquérir cette même vitesse.

CHASSIS. Les châssis pour le moulage sont des caisses en bois, en fer ou en fonte, qui contiennent le sable des moules ; ils varient suivant la forme des pièces que l'on se propose de mouler ; ils sont, à cet effet, composés de plusieurs parties.

CHATEAU D'EAU. Bâtiment plus ou moins décoré, renfermant un réservoir d'eau où le liquide est contenu, pour le distribuer ensuite en divers lieux, selon les besoins. Ce réservoir doit être élevé à une hauteur supérieure à celle de tous les lieux où l'eau doit se rendre. Il doit être pourvu d'appareils propres à mesurer les quantités d'eau qui s'écoulent par chaque tuyau de sortie, afin de proportionner à volonté la dépense du réservoir à la masse d'eau qui l'alimente.

Le plus ordinairement, cet édifice est enrichi d'ornements d'architecture, et le réservoir est placé en une partie assez élevée pour en rendre l'écoulement de sortie plus rapide, et la distribution plus facile.

L'ensemble constitue les fontaines monumentales ou de décoration.

CHENAL. C'est, en général, le nom qu'on donne à un courant d'eau bordé de terre en talus, ou bien un courant d'eau pratiqué entre des planches, ou deux petits murs destinés à conduire l'eau à un moulin.

CHÉNEAU. Conduit de plomb, de fer-blanc, de zinc, ou même de bois, pour recevoir les eaux du toit et les conduire jusqu'au tuyau de descente.

COLLIER. Anneau de fer formé de deux demi-cercles réunis à l'une des extrémités par une charnière, et portant à l'autre extrémité un talon percé d'un trou.

En introduisant un boulon dans les trous des deux talons, et serrant l'écrou, on obtient une force de pression sur le corps que le collier embrasse.

COMPRESSION. Force qui s'oppose à la force expansive d'un fluide et contraint les molécules à occuper un espace déterminé.

Quand on comprime de l'air ou un fluide élastique, la densité de cet air ou de ce fluide élastique est toujours proportionnelle à la pression : c'est ce qu'on appelle la loi de Mariotte.

COMPTEUR. Instrument qui est destiné à indiquer combien de mouvements de même espèce ont été accomplis dans un temps donné, et même à avertir au besoin par une sonnerie de l'instant où certains effets sont produits.

Digitized by Google

Ces instruments sont très-variés, d'après les circonstances qui les rendent utiles et selon le but qu'on a en vue en les établissant.

Ils peuvent faire connaître le nombre de tours faits par une roue, les excursions alternatives de va-et-vient d'un piston, la quantité d'eau fournie à chaque instant par une conduite, par une pompe, etc.

CONDUITE. Est une suite de tuyaux pour conduire l'eau d'un lieu à un autre. Une conduite se désigne par la grosseur de son diamètre, ou par le nom de la matière dont les tuyaux sont formés. On dit une conduite de vingt-cinq centimètres; on dit également une conduite de plomb, de fer, de terre ou de bois.

COUCHE. La couche ou couchis est l'assemblage de planches sur lequel reposent et se fabriquent les moules en sable, de quelque nature qu'ils soient.

COULÉE. La coulée se fait de plusieurs manières : elle peut se faire directement du fourneau dans les moules; partiellement, au moyen de cuillères à ce destinées, et de chaudières qui sont suspendues à la grue, et que l'on conduit à l'orifice des différents moules pour les remplir.

CRAPAUDINE. Plaque de plomb à jour, qu'on met dans le dedans des cuvettes, bassins et réservoirs, afin que les ordures ne passent pas dans les tuyaux de descente et ne les engorgent pas.

On donne aussi ce nom à une espèce de coussinet destiné à recevoir une machine pivotante.

CUIVRE. Le cuivre est un métal solide, rouge, jaunâtre, très-brillant, susceptible de colorer la flamme en vert. Il acquiert de l'odeur par le frottement. C'est le plus sonore de tous les métaux; c'est aussi l'un des plus ductiles : on en fait des feuilles très-minces et des fils d'un très-petit diamètre. Sa ténacité est inférieure à celle du fer. La pesanteur spécifique du cuivre fondu est de 7,880. On ne l'a point encore obtenu bien cristallisé.

Le cuivre est fusible à 27° environ du pyromètre de Wedgwood. Il n'est pas volatil.

On s'en sert pour faire des chaudières, des baignoires, des tuyaux, des robinets, etc.

Réduit en lames, il est employé pour doubler les vaisseaux. Combiné avec le zinc, dans le rapport de 75 à 25 environ, il forme le laiton ou cuivre jaune; uni à l'étain, il forme l'alliage du canon et des cloches.

DÉCHARGE. Mettre une conduite en décharge, c'est donner aux eaux qu'elle contient une issue en dehors, en interrompant leur cours ordinaire. Cela se fait ordinairement par le moyen d'un robinet, qui prend alors le nom de robinet de décharge.

DÉPOUILLE. On appelle dépouille, en fonderie, l'inclinaison que l'on donne aux faces des modèles pour faciliter leur sortie du moule dans lequel ils sont renfermés; beaucoup de modèles ne peuvent ni ne doivent avoir de dépouille apparente.

DILATATION. Changement de volume que la chaleur produit lorsqu'elle s'accumule dans un corps, ou bien lorsqu'elle l'abandonne.

Pour démontrer que la chaleur dilate les corps solides, il suffit de prendre une barre de fer ou d'un métal quelconque. Les deux barres sont placées entre deux supports

Digitized by Google

entre lesquels elles jouent librement. Si l'on chauffe ces barres, elles ne pourront plus se placer entre ces deux supports ; et comme la distance entre les deux supports est invariable, il faudra en conclure que les deux barres se sont allongées, ce sera d'une quantité qui ne sera pas très-grande, car en général les métaux ne se dilatent que de très-petites quantités. Si l'on fait la même expérience sur du verre, sur des poteries, sur du bois, enfin sur une substance solide quelconque, on trouve qu'en la chauffant, elle augmente aussi de volume.

Table contenant les résultats des expériences faites par divers physiciens, et indiquant la dilatation linéaire de plusieurs substances pour un intervalle de 100° du thermomètre centigrade.

Fer fondu	0, 0111
Fer doux forgé	0, 0012205
Acier non trempé	0, 0010791
Cuivre jaune	0, 0018782
Cuivre rouge	0, 00171
Étain de Falmouth	0, 0021730
Plomb	0, 0028484
Zinc	0, 00294
Verre, moyennement	0, 00085
Poteries brunes, environ	0, 00040
Bois de sapin, environ	0, 00080
Le mercure se dilate, en volume, depuis zéro jusqu'à l'eau bouillante de	$0,018018 = \frac{100}{5555}$
L'eau, de	$0,0433 = \frac{1}{23}$
L'alcool, de	$0,1100 = \frac{1}{9}$
Tous les gaz	$0,375 = \frac{100}{267}$

EAU. L'eau est un fluide transparent, incolore, sans odeur, insipide et susceptible de mouiller presque tous les corps, excepté ceux qu'on dit être gras, les feuilles de certains plantes, etc.

Elle existe sous les trois états différents de solide, liquide et fluide élastique, savoir : en glace, eau proprement dite, et vapeur aqueuse.

L'eau, à l'état liquide, peut être regardée comme incompressible lorsqu'on ne la soumet qu'aux pressions ordinaires. La construction des pompes foulantes est fondée sur ce principe.

La surface de l'eau dormante, celle que ce liquide offre dans le repos, est exactement horizontale ou perpendiculaire à la direction du fil à plomb.

Tout vase qui contient de l'eau a ses parois pressées par une force perpendiculaire à leur surface ; la grandeur de cette force croît avec l'enfoncement de la paroi, et elle est toujours égale, pour une portion de la paroi, au poids du filet vertical du liquide qui a pour base l'aire de la paroi, et pour hauteur sa distance au niveau de l'eau.

Les pressions qui s'exercent sur le liquide, par un piston ou tout autre moyen, sont transmises sur les surfaces des parois, de manière que quelque part qu'on prenne une surface égale à la base du piston, cette aire est pressée avec la même intensité que si le piston y était immédiatement contigu. C'est le principe de l'*égalité* de pression découvert par Pascal.

Digitized by Google

L'air presse la surface de l'eau ; la pression se distribue également dans toute la masse et dans tous les sens, et lorsque le vide est fait dans un tube vertical fermé en haut, ouvert en bas, et plongé dans l'eau, ce liquide monte jusqu'à une hauteur qui est, en termes moyens, de $10^m,4$, ou 32 pieds, plus ou moins, selon la pression atmosphérique subsistante. C'est sur cette propriété qu'est basée la construction des pompes aspirantes.

L'eau, prise à la température de 4° 10 du thermomètre centigrade, est à son maximum de densité ; son poids est tel, dans cet état, qu'un litre, ou cube d'un décimètre de côté, pèse juste un kilogramme. Mais si la température vient à changer, l'eau se dilate ; le volume 1 devient 1,0001082 à 0°. Depuis le maximum de densité jusqu'à 100°, l'eau se dilate de $\frac{2}{43}$=0,0465 de son volume primitif.

L'eau se dilate également, en changeant d'état, au moment de la congélation. Sa force expansive est telle alors, qu'elle déchire ou brise ordinairement tout ce qui lui sert d'enveloppe. Buot a fait rompre, par ce moyen, un canon de fer d'un doigt d'épaisseur. On ne saurait trop se prémunir contre cet inconvénient dans l'établissement des conduites d'eau, soit en les posant sous terre, soit en les garnissant, dans les distributions intérieures, de corps peu conducteurs de la chaleur.

ÉCOULEMENT DES LIQUIDES. Si l'on fait une ouverture à un vase qui contient un liquide, et que l'ouverture soit placée au-dessous de la surface du liquide, le liquide s'échappera aussitôt avec une vitesse plus ou moins grande.

D'après le principe découvert par Torricelli, le liquide s'écoulera avec une vitesse égale à celle qu'aurait ce même liquide tombant depuis le niveau du liquide jusqu'à l'orifice.

Tel est le résultat théorique : le résultat de l'expérience en diffère un peu, et cela est dû à la contraction de la veine fluide. (*Voyez* AJUTAGE, VEINE FLUIDE.)

ÉCROU. Cylindre creux, fileté intérieurement, pour recevoir un boulon.

ÉLASTICITE. Propriété dont jouissent les corps qu'on a comprimés de se rétablir dans leur état primitif, quand la compression cesse.

Dans les fluides aériformes, l'expansion en tous sens ne cesse que lorsqu'un obstacle vient s'y opposer ; et la force avec laquelle l'obstacle résiste, ou celle de la pression que le gaz exerce sur lui, est la mesure de la tension du gaz. Ici l'élasticité est parfaite, et le gaz reprend les mêmes dimensions et la même tension, sous l'empire des mêmes forces, dans tous les temps et dans tous les lieux, pourvu qu'on restitue le calorique qui avait été dégagé.

Les liquides, au contraire, ne peuvent être comprimés que par des puissances énormes, ce qui a fait nier longtemps la compressibilité et l'élasticité de ces substances.

EMBOITEMENT. Partie cylindrique qui termine un tuyau, et qui est plus grand que le corps du tuyau.

Dans cette partie plus large, entre le petit bout du tuyau suivant.

EMBOITER DES TUYAUX. Les faire pénétrer l'un dans l'autre pour former une conduite.

Digitized by Google

ÉTAIN. L'étain est un métal solide, presque aussi blanc que l'argent. Il s'étend bien en lames et se tire mal en fils. Il a beaucoup plus de dureté et d'éclat que le plomb. Plié en différents sens, il fait entendre un craquement particulier, que l'on a nommé le cri de l'étain.

Sa pesanteur spécifique est de 7,291. On ne l'a point encore obtenu en cristaux réguliers.

Quoique fusible à 210°, il n'est point volatil.

Uni avec deux fois son poids de plomb, il constitue la soudure des plombiers.

Les mines les plus belles d'étain sont le partage de l'Inde, de l'Angleterre, de l'Allemagne et de l'Espagne. Le meilleur nous vient de Malaca; c'est le seul qui soit pur.

ÉTUVE. Espace fermé et chauffé pour faire sécher promptement les moules qu'on y met.

ÉVENTS. Canaux pratiqués dans la partie supérieure des moules, pour faciliter la sortie de l'air, de l'humidité et des gaz.

FER. Le fer est un métal solide à la température ordinaire, dur, à gros grains, un peu lamelleux, susceptible d'acquérir, par le frottement, une odeur sensible. Il est très-ductile; toutefois, il passe beaucoup mieux à la filière qu'au laminoir; car il existe des fils de fer d'un très-petit diamètre, tandis qu'il n'existe pas de lames de fer très-minces. Sa pesanteur spécifique est de 7,788.

C'est le plus tenace des métaux : un fil de fer de deux millimètres ne se rompt que par un poids de 242 k. 659.

Le fer n'entre en fusion qu'à environ 130° du pyromètre de Wedgwood; aussi faut-il une bonne forge pour le fondre.

C'est de tous les métaux le plus employé dans les arts.

FILTRE, FILTRATION. La filtration est une opération purement mécanique, à laquelle on a fréquemment recours en chimie et dans beaucoup d'arts différents; elle a pour objet de séparer d'un liquide quelconque les molécules de corps étrangers qui y sont tenus en suspension.

Le plus ou le moins de ténacité de ces molécules, la nature et la densité du liquide, sont autant de causes qui forcent de varier les moyens qu'on peut employer pour arriver à ce but.

FONTAINE. Ce mot ne s'appliquait d'abord qu'aux sources d'eau naturelles, et servait à indiquer l'endroit où elles paraissaient à la surface du sol. On s'en sert aujourd'hui pour désigner tout réservoir ou château d'eau qui fournit un écoulement continu ou intermittent.

Les fontaines monumentales sont celles qui décorent nos places et nos promenades; les fontaines dépuratoires sont employées dans nos maisons pour filtrer les eaux, et les débarrasser de toutes les substances qu'elles tiennent en suspension, etc.

FONTAINIER. C'est l'ouvrier chargé de rechercher les eaux, de les conduire, les jauger, les réunir, les distribuer; de construire les canaux, bassins, puits, pompes,

Digitized by Google

cascades, etc. En un mot, le fontainier est employé dans tout ce qui se rapporte au gouvernement des eaux. Il est peu d'arts qui exigent des connaissances plus variées.

Comme le fontainier se sert fréquemment du plomb dans ses travaux, il prend aussi la dénomination de *plombier*.

FONTAINIER-SONDEUR. L'art du fontainier-sondeur consiste à reconnaître les différentes espèces de terrains dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines ascendantes, et à les ramener à la surface du sol, à l'aide de la sonde du mineur. Lorsque le sondeur est arrivé jusqu'à l'eau qu'il recherche, cette eau s'élève dans le trou de la sonde et souvent jaillit au dehors. Alors on descend un tube pour l'isoler et la conserver. Il résulte de cette construction, ou un puits ordinaire, ou des eaux jaillissantes, mais dont la source est quelquefois à 100 mètres de profondeur et même plus.

Cinq sondages faits dans les environs de Paris, de 40 à 70 mètres de profondeur, ont donné de l'eau jaillissante de 4 à 24 mètres au-dessus du zéro du pont de la Tournelle.

Un de ces puits, foré à la gare de Saint-Ouen, fournit 120 mètres cubes par vingt-quatre heures, et n'éprouve aucune variation. Il a été terminé en cinquante jours, au prix de 30 à 31 fr. par mètre, non compris les prix des tubes d'ascension.

FONTE. C'est une combinaison de fer malléable avec du carbone, jouissant de la propriété de pouvoir s'obtenir liquide à une haute température. Cette découverte importante, qui a donné à ce métal un nouvel emploi dans les arts, n'a été faite que vers la fin du quinzième siècle.

On distingue deux espèces de fonte, la blanche et la grise, qui diffèrent moins par la proportion du carbone que par l'état de combinaison dans lequel le carbone y est disséminé.

La fonte blanche est en général très-brillante ; sa couleur est le blanc d'argent passant au gris clair par une infinité de nuances.

Elle est fragile, se casse facilement par le choc, ce qu'on exprime en disant qu'elle est aigre et cassante.

La fonte grise possède également l'éclat métallique ; sa couleur est le gris foncé passant au gris clair. Quoique très-tenace, très-difficile à casser, elle se laisse limer, propriété que ne possède pas la précédente.

La fonte grise est la plus propre au moulage, parce qu'on ne peut employer que celles qui jouissent des qualités suivantes :

1° Elle doit être très-liquide, se figer le moins vite possible, afin de remplir le moule parfaitement ;

2° Refroidie, elle ne doit pas avoir de soufflure intérieurement, ni présenter des inégalités à la surface ;

3° Lorsqu'elle est destinée à recevoir des impressions délicates, elle ne doit pas dégager beaucoup de graphite en se figeant, parce que la netteté des contours en souffrirait ;

4° Il faut qu'après le refroidissement elle soit le moins aigre possible ;

Digitized by Google

5° Convertie en objets qui doivent être travaillés au foret et à la lime, elle ne doit pas avoir une trop grande dureté après le refroidissement, mais elle doit posséder un peu de malléabilité ;

6° Il ne faut pas que, douée d'un excès de chaleur, elle puisse attaquer les moules, ce qui dégraderait la surface de l'objet ;

7° Employée pour les objets durs, il faut qu'elle soit tenace, malgré la dureté, et qu'elle ne devienne pas aigre ;

8° Elle doit prendre peu de retrait, afin que les proportions de l'objet ne soient pas atténuées ;

9° Il faut qu'elle soit poreuse, surtout si les objets moulés sont destinés à faire bouillir les liquides.

JAUGE. Les fontainiers se servent de ce terme pour désigner un appareil destiné à mesurer la quantité de *pouces* ou de *modules* d'eau fournis par une conduite, une source, etc. (*Voyez* ces mots, Pouces, Module.)

JAUGEAGE. L'action de jauger, de mesurer le produit d'une source, d'une conduite, etc.

JAUGER. Mesurer avec la jauge le produit d'une conduite, etc., et le réduire à une mesure commune et connue.

JOINT. L'endroit où deux choses se joignent, mode d'assemblage de deux tuyaux de conduite.

Les tuyaux en fonte de fer se réunissent par des joints à brides et boulons, ou par des joints à emboîtement de cylindre.

Les tuyaux de plomb se réunissent au moyen d'un alliage composé de deux parties de plomb et une d'étain, qui enveloppe le joint. (*Voyez* Nœud de soudure.)

Dans les tuyaux de poterie, la soudure est remplacée par du mortier de chaux hydraulique et sable.

MASSELOTTE. Excédant de métal que l'on ajoute en coulant une pièce, pour donner plus de densité à la matière qui la compose.

MASTICS dont on fait usage dans les travaux de fontainerie.

1° Le mastic de *fontainier* employé pour les nœuds de tuyaux.

Les tuyaux en grès, ou terre cuite, sont soudés en mastic de fontainier à chaque nœud, et revêtus ensuite dans toute leur longueur d'une chemise en mortier de chaux hydraulique et sable ou ciment.

Le mastic de fontainier est composé d'un mélange de ciment de tuileau passé au tamis fin, de poix fondue et de graisse de porc (saindoux).

2° Le mastic *gras*, qui sert à graisser les joints du marbre lors de la taille, afin de les faire joindre parfaitement.

Il se compose de deux parties de cire jaune, trois parties de poix blanche, et huit parties de résine, que l'on fait fondre ensemble et que l'on jette ensuite dans de l'eau de puits pour en saisir la pâte ; cette pâte se roule en bâton pour l'employer au besoin.

5° Le mastic de *fontaine*, qui sert à sceller les agrafes qui retiennent et maintiennent les fils et cassures des marbres ; c'est celui dont les plombiers et les fabricants de

Digitized by Google

fontaines à filtrer en pierre se servent pour faire leurs joints, les collets des robinets, des douilles de bondes, des cuvettes de faïence, des bouchons de pierres d'évier, et autres semblables qui sont constamment à l'humidité.

Ce mastic se compose de débris de poterie de grès, ou de tuile de Bourgogne pure, pulvérisés et amalgamés avec une quantité suffisante de mastic gras pour obtenir une pâte consistante.

4° Le mastic de *corbel*, qui sert à faire les dallages de perrons et terrasses, et en général de tous les endroits qui sont exposés à l'intempérie de l'air, mais non à l'humidité.

On prend 6 kilogrammes de ciment fin, fait de bonne tuile de Bourgogne, sans aucun mélange, bien pulvérisée et passée au tamis de soie ; 1 kilogramme de litharge pour faire sécher, et on détrempe le tout dans 3 kilogrammes d'huile de lin, et 1 kilogramme d'huile grasse pour siccatif.

Ce mastic est remplacé maintenant avec beaucoup d'avantages par le mastic *de Dihl*.

5° Le mastic de *limaille*, qui s'emploie aux mêmes usages que les précédents, mais dans des endroits habituellement humides ou qui reçoivent constamment de l'eau, comme caniveaux en pierre, dallages de cuisines, de lavoirs ou de lieux communs, auges en pierre faites de plusieurs morceaux, ou cassées et agrafées, etc.

Ce mastic, qui est très-bon lorsqu'il est bien appliqué, se compose d'un mélange de 12 kilogrammes de limaille de fer, ou de fer et cuivre, telle qu'on en trouve chez les éperonniers, mais qui ne soit pas rouillée ; 2 kilogrammes de sel et 4 aulx, que l'on fait infuser vingt-quatre heures dans 2 litres 1/2 de bon vinaigre, et 3/4 d'urine ; on décante alors, et la pâte consistante qui s'est formée au fond du vase est le mastic, lequel est propre à être employé à l'instant même.

Ces deux derniers mastics doivent être employés, ainsi que le mastic *de Dihl*, sur des matières calcaires parfaitement sèches, autrement ils s'y incorporent mal, se feuillettent, et l'humidité les repousse.

MODÈLE. C'est le relief de l'objet que l'on veut mouler, et que l'on veut imiter en remplissant le moule de fonte.

MODULE. Unité que M. de Prony a proposé d'adopter pour la mesure des eaux courantes. Le module d'eau serait égal au produit de 10 mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures, et le double module au produit de 20 mètres cubes dans le même temps : ce qui équivaudrait à peu près au *pouce de fontainier*. (*Voyez* ce mot.)

Le double module d'eau est fourni par un orifice de $0^m,02$ de diamètre, percé dans une paroi de $0^m,017$ d'épaisseur, et dont la charge sur le centre d'eau de l'orifice serait de $0^m,05$.

MESURES FRANÇAISES ET ANGLAISES.

Digitized by Google

Tableau des mesures françaises et anglaises.

DÉSIGNATION des MESURES FRANÇAISES.	VALEUR en MESURES MÉTRIQUES.	DÉSIGNATION des MESURES ANGLAISES.	VALEUR en unité des MESURES FRANÇAISES.
1° DE LONGUEUR.			
Mètre (dix-millionième partie du quart du méridien terrestre)	m. 1,00	Mille	m. 1609,3149
Kilomètre	1000,00		
Toise	1,949 04	Yard	0,9144
Pied	0,324 84	Pied	0,3048
Pouce	0,027 070	Pouce	0,0254
Ligne	0,002 256	Ligne	0,0024
2° DE SUPERFICIE.			
Mètre carré	m. s. 1		
Toise carrée	3,798 74	Yard	m. s. 0,836 097
Pied carré	0,105 521	Pied	0,093
Pouce carré	0,007 327 8	Pouce	0,000 645
Ligne carrée	0,000 050 89	Ligne	0,000 004 48
3° AGRAIRES.			
Are (carré de 10 mètres de côté)	m. s. 100,00	Yard carré	m. s. 0,836 097
Hectare	10 000,00	Rod (perche carrée)	25,291 193 9
Arpent des eaux et forêts	5 107,20	Rood (1210 yards carrés)	1011,677 5
Perche —	51,07	Acre (4840 yards carrés)	4046,71
Arpent de Paris	3 418,87		
Perche —	34,19		
4° CUBIQUES.			
Stère (ou mètre cube)	m.c. 1		
Toise cube	7,403 89	Yard	m.c. 0,764 5
Pied cube	0,034 277 3	Pied	0,028 315
Pouce cube	0,000 019 836	Pouce	0,000 016 383
Ligne cube	0,000 000 011 48	Ligne	0,000 000 009 261
5° DE CAPACITÉ POUR LES LIQUIDES.			
Litre (ou décimètre cube)	lit. 1,00		
Kilolitre (un mètre cube)	1000,00		
Muid	268,22	Bushel (8 gallons)	lit. 36,347 664
Setier	7,4504	Gallon impérial	4,543 457 94
Pinte	0,9313	Quart ($\frac{1}{4}$ de gallon)	1,135 864
Voie	23,00	Pint ($\frac{1}{8}$ de gallon)	0,567 932
6° DE POIDS.			
Kilogramme (poids d'un litre d'eau)	kilo. 1,00	Ton	kilo. 1015,649
Quintal	48,951	Quintal	50,782 46
Livre	0,489 51	Livre	0,453 414 8
Once	0,300 59	Once	0,028 338 4
Gros	0,003 024	Dram	0,001 771 2

Digitized by Google

DÉSIGNATION des MESURES FRANÇAISES.	VALEUR en MESURES MÉTRIQUES.	DÉSIGNATION des MESURES ANGLAISES.	VALEUR en unité des MESURES FRANÇAISES.
7° D'ÉCOULEMENT.			
Module d'eau.	10 kilolitres en 24 heures.		
Pouce d'eau.	19kilol.,1953 en 24 heures, 800 litres par heure.		
Ligne d'eau.	133lit.,3 en 24 heures, 5lit.,5 par heure.		
8° DE TRAVAIL D'UN MOTEUR.			
Dynamie.	1 mètre cube d'eau, ou 1000 kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur.		
Cheval de vapeur.	6480 dynam. en 24 heures, ou élévation de 75 kilogr. par seconde à 1 mèt. de hauteur.	Horse-Power.	6565kilo.,54 en 24 heures, ou élévation de 33,000 livres (avoir du poids) par minute à 1 pied anglais de hauteur.
9° DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE.			
Therme, calorie.	Quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 1 kilogramme d'eau liquide.		
10° MONÉTAIRES.			
Les monnaies d'or de France contiennent, ainsi que celles d'argent, un dixième d'alliage et neuf dixièmes de métal pur. En général, le titre est 0,900. L'unité monétaire est le *franc*, qui se subdivise en *décimes* et en *centimes*.		L'unité monétaire est la livre *sterling*, qui se subdivise en 20 *schellings*, et le schelling en 12 *deniers*.	
		OR.	f. c.
		Guinée de 21 schellings. .	26,47
		Souverain, depuis 1818, de 20 schellings.	25,2080
Poids des pièces de monnaie en grammes.		ARGENT.	
		Crown ou couronne de 5 schellings anciens. . . .	6,16
	gr.	Crown ou couronne, depuis 1818.	5,8072
Pièces de 40 francs	12,903 22	Schelling, depuis 1818. . .	1,1614
de 20 francs	6,451 61	On estime généralement en France le shilling 1f,25c, et la livre sterling à 25 fr.	
de 5 francs	25,000		

Digitized by Google

MOULE. Ensemble de pièces présentant un creux qui sert à former une figure ou un bas-relief, soit par la voie de la fonte, soit par impastation.

On distingue trois parties principales : le *noyau* ou partie massive, dont la surface extérieure fournit l'empreinte intérieure du modèle ; la *chape* ou enveloppe, dont la surface intérieure fournit l'empreinte extérieure du modèle ; enfin le *vide* entre le noyau et la chape, destiné à recevoir le modèle, et dans lequel on verse, par conséquent, la matière fusible qui doit entrer dans la composition de ce modèle.

NŒUD DE SOUDURE. Joint de deux tuyaux en plomb, ou quantité de soudure ramassée entre deux tuyaux emboîtés, pour les attacher ensemble et empêcher que l'eau ne sorte.

NOYAU. Le noyau est la partie massive du moule qui se trouve renfermée dans son intérieur, en laissant toutefois un vide entre lui et la chape, pour y verser la matière à telle épaisseur que l'on aura jugé convenable.

ORIFICE. Ouverture par laquelle sort un fluide, lorsqu'il y est sollicité par une cause quelconque.

PAROIS. On désigne ainsi les différentes surfaces qui terminent un corps ; celles qui fixent plus particulièrement l'attention sont les parois intérieures des moules, des tuyaux, des canaux, et des vases qui contiennent des liquides, etc.

PENTE. Inclinaison que l'on donne au fond d'un canal, pour que les eaux puissent y couler avec plus ou moins de vitesse.

Elle se mesure par la différence de niveau entre deux points consécutifs séparés par une distance égale à l'unité de longueur. Ainsi, si l'unité de longueur est le mètre, et que la différence de niveau, entre deux points pris sur l'axe du fond et placés à la distance de 1 mètre, soit de 1 centimètre, on dit que la pente est de 1 centimètre par mètre.

PESANTEUR. Force qui anime toutes les molécules d'un corps, et tend à les précipiter à la surface de la terre. On prend pour sa mesure le double de l'espace parcouru pendant une seconde de la chute. A Paris, cet espace est de $4^m,9044$.

PISTON. Est un ajustage de bois, de cuir et de fer, ayant la force d'un cylindre, que l'on met dans l'intérieur d'un autre cylindre pour en remplir hermétiquement le vide, et donner, par le mouvement de va-et-vient qu'on lui imprime, du vent ou de l'eau, suivant qu'on lui a fait aspirer l'une ou l'autre de ces deux substances.

Le produit est en raison de la vitesse du piston, de la longueur de sa course et de la capacité du cylindre.

PLOMB. Le plomb est un métal solide, blanc, bleuâtre, brillant. Frotté entre les mains, il leur communique une odeur sensible : c'est l'un des métaux les plus mous ; aussi est-il sans sonorité, et il est rayé par presque tous les autres corps, même par l'ongle ; on peut même s'en servir pour tracer des caractères sur le papier. Très-malléable, il s'étend plus facilement en lames qu'il ne se tire en fils ; sa ténacité est peu considérable ; sa densité est de 11,352. On ne l'a point encore obtenu en cristaux bien réguliers.

C'est un des métaux les plus fusibles : sa fusion a lieu vers le 260° de chaleur ; il n'est pas sensiblement volatil.

Digitized by Google

On s'en sert pour couvrir des édifices, pour construire des bassins, des conduites. des gouttières, des réservoirs, des chaudières, des chambres dans lesquelles se fabrique l'acide sulfurique : allié avec la moitié de son poids d'étain, il forme la soudure des plombiers.

POIDS. La pesanteur agissant également sur toutes les particules d'un corps, ce corps tend à tomber avec une certaine force, en raison précisément de la quantité de particules matérielles qu'il renferme.

La somme de ces actions est ce qu'on appelle la résultante de la pesanteur ou poids.

Le poids du mètre cube d'une substance, dont on connaît la pesanteur spécifique par rapport à l'eau distillée, s'obtient en multipliant par 1,000 kilogrammes le nombre qui exprime cette pesanteur spécifique.

Table des pesanteurs spécifiques des solides, celle de l'eau étant 1 (à 18° centigrades).

Platine	laminé	22,0690
	passé à la filière	21,0417
	forgé	20,3366
	purifié	19,5000
Or	forgé	19,3617
	fondu	19,2581
Mercure (à 0°)		13,598
Plomb fondu		11,3523
Argent fondu		10,4743
Cuivre en fil		8,8785
Cuivre rouge fondu		8,7880
Acier non écroué		7,8163
Fer en barre		7,7880
Étain fondu		7,2914
Fer fondu		7,2070
Zinc fondu		6,861
Marbre de Paros (chaux carbonatée lamellaire)		2,8376
Chaux carbonatée cristallisée		2,7182
Chaux sulfatée cristallisée		2,3117
Houille compacte		1,3292
Glace		0,930
Bois de hêtre		0,852
Frêne		0,845
If		0,807
Bois d'orme		0,800
Sapin jaune		0,657
Tilleul		0,604
Peuplier blanc d'Espagne		0,529
Peuplier ordinaire		0,383
Liége		0,240

POMPE. Machine dont on se sert pour élever l'eau, en mettant à profit la force élastique de l'air.

On distingue deux espèces de pompes : la pompe aspirante, et la pompe aspirante et foulante.

Digitized by Google

POUCE DE FONTAINIER. Unité pour la mesure des eaux qui s'écoulent par des tuyaux de conduite. Le pouce d'eau de Paris est égal à la quantité d'eau que fournit, dans une seconde, un tuyau de 1 *pouce* de diamètre, et placé de manière que le centre de son orifice soit à 7 *lignes* de distance de la surface de l'eau du réservoir où il est adapté. Pour évaluer le produit, il faudrait déterminer encore la longueur de l'ajutage ou l'épaisseur de la paroi dans laquelle est percé le trou par lequel l'eau s'écoule.

Or, c'est ce qu'on n'a pas fait : de manière qu'on ne s'accorde pas sur la valeur exacte de cette mesure ; cependant il est assez généralement admis qu'elle vaut 15 pintes, ou 13$^{lit.}$,33 par minute, ou 19$^{kilol.}$,1953 en 24 heures.

Le produit théorique, calculé d'après la règle de Torricelli, est de 27$^{kilol.}$,677. Si on le compare avec le précédent, on en conclut que le coefficient de contraction est de 0,69 ; coefficient qui convient à un ajutage cylindrique dont la longueur serait égale à 3 fois le diamètre. Ainsi, dans la supposition que nous avons faite, les trous ne doivent pas être percés en mince paroi, mais on doit y appliquer un tuyau cylindrique de 3 pouces de longueur pour avoir le *pouce de fontainier*.

Le pouce se subdivise en 144 lignes, fournissant chacune, par conséquent, 133$^{lit.}$,3.

Nous allons indiquer dans un tableau le diamètre qu'il convient de donner à l'orifice pour avoir une ou plusieurs lignes d'eau, en supposant que la charge, sur le centre de l'orifice, reste toujours de 7 lignes.

NOMBRE de LIGNES D'EAU.	DIAMÈTRE de L'ORIFICE.	CHARGE SUR LE CENTRE de l'orifice.	PRODUIT en 24 HEURES.	OBSERVATIONS.
	lignes.	lignes.	litres.	
1 ligne ou $\frac{1}{144}$ de pouce.	1,000	7	133,3	On ne peut guère employer d'orifices plus petits que 2 lignes.
2 — $\frac{1}{72}$ —	1,414	»	266,6	
3 — $\frac{1}{48}$ —	1,732	»	399,9	
4 — $\frac{1}{36}$ —	2,000	»	533,2	
6 — $\frac{1}{24}$ —	2,449	»	799,8	
8 — $\frac{1}{18}$ —	2,828	»	1066,4	
9 — $\frac{1}{16}$ —	3,000	»	1199,7	
12 — $\frac{1}{12}$ —	3,464	»	1599,6	
16 — $\frac{1}{9}$ —	4,000	»	2132,8	
18 — $\frac{1}{8}$ —	4,242	»	2399,4	
24 — $\frac{1}{6}$ —	4,899	»	3199,2	
36 — $\frac{1}{4}$ —	6,000	»	4798,8	
48 — $\frac{1}{3}$ —	6,928	»	6398,4	
72 — $\frac{1}{2}$ —	8,484	»	9597,6	
144 — 1 pouce.	12,000	»	19195,3	

PRESSION. Effort qu'un corps exerce sur un autre corps, en raison de son poids.

Les solides transmettent la pression dans le sens qu'ils la reçoivent.

Les liquides, au contraire, la transmettent également dans tous les sens.

Digitized by Google

La pression de l'air sur 1 centimètre carré de surface est égale à $1^{kil.},0336$: c'est ce qu'on appelle la *pression due à une atmosphère*.

RÉSISTANCE. L'adhésion des molécules d'un corps se mesure par la résistance qu'elles offrent à un effort de traction.

Voici les résultats des expériences sur la résistance des matériaux dont la connaissance a paru utile aux hydrauliciens.

	k	
Le plomb est rompu par les efforts sur un millimètre carré de surface de.	1,37	(Jardine d'Édimbourg.)
	1,58	(*Idem.*)
	1,35	(Navier.)
Il a supporté, sans altération apparente. . .	1,14	(Jardine.)
	1,22	(*Idem.*)
	0,68	(Navier.)
Le fer forgé est rompu par des efforts sur un millimètre carré de surface de.	42,90	(Perronnet.)
	42,20	(*Idem.*)
	46,80	(Soufflot et Rondelet.)
	44,50	(Poleni.)
	46,10	(Telford.)
	39,40	(Brown.)
	49,40	(Brunel.)
	42,00	(Expér. à Saint-Pétersbourg.)
Il supporte sans altération apparente. . . .	35,73	(Telford.)
	36,77	(Brunel.)
	28,00	(Expér. à Saint-Pétersbourg.)
Poids produisant la rupture de la tôle laminée tirée dans le sens du laminage. . . .	40,80	(Navier.)
Tôle tirée perpendiculairement au sens du laminage.	36,40	(*Idem.*)
D'après une expérience faite sur un vase sensiblement sphérique, le poids produisant la rupture est de	46 à 47	(*Idem.*)

Les pièces commencent à s'allonger sensiblement sous des poids égaux à la moitié ou aux deux tiers de ceux qui produisent la rupture.

	kil.	
Poids produisant la rupture de la fonte. . .	14,20	(Brown.)
	13,48	
La fonte supporte sans altération apparente..	10,70	(Tredgold.)
Cuivre battu	24,89	
Cuivre fondu.	13,41	
Cuivre laminé..	21,10	(Navier.)

La pièce de cuivre a commencé à s'étendre, dans la dernière expérience, sous une charge qui était égale à la moitié environ, ou de $10^{kil.},55$.

	kil.
D'après M. Vicat, la force de cohésion, sur 1 centimètre carré, est, pour les mortiers bien faits à sable quartzeux et chaux éminemment hydraulique, de.	9,60
Mortiers bien faits, à sable quartzeux et chaux hydraulique ordinaire.	6,00

Digitized by Google

D'après les expériences de M. Tredgold, la force de cohésion des bois tirés perpendiculairement à la direction des fibres est, sur 1 centimètre carré :

	kil.
Pour le peuplier	125,24
Pour le chêne	162,77

RÉSERVOIR. Lieu où l'on recueille les eaux qui doivent ensuite être distribuées, soit dans les différents quartiers d'une ville, soit dans un grand établissement, soit dans une maison particulière.

La forme, les dimensions et le mode de construction varient suivant qu'ils ont à remplir l'une ou l'autre destination.

ROBINETS. On donne ce nom à un appareil qui sert à intercepter ou à établir l'écoulement des eaux dans un tuyau de conduite, au moyen de la pénétration de ce tuyau par un solide. Il se compose ainsi de deux parties, qu'on désigne sous les noms de *boisseau* et de *clef*.

Le boisseau est érigé perpendiculairement sur le tuyau, avec lequel il fait corps, et présente un évidement destiné à recevoir la clef.

La clef a ordinairement la forme d'un cône tronqué, pénétré perpendiculairement à son axe par un cylindre creux dont le diamètre est égal à celui de la conduite, et qui forme l'œil de la clef.

Lorsque les deux axes de la conduite et de l'œil de la clef se confondent, l'écoulement des eaux est libre. Lorsque, au contraire, ces deux axes sont perpendiculaires l'un à l'autre, l'écoulement des eaux est intercepté. Cette manœuvre s'opère en faisant tourner la clef dans le boisseau.

On a inventé des robinets où la clef, au lieu de tourner dans le boisseau, s'élève et descend au moyen d'une vis sans fin, qui la pénètre en glissant dans deux coulisses. Ces robinets prennent les noms de *robinet-coin* ou de *robinet-vanne*, suivant que la clef a la forme d'un coin ou d'une vanne.

Les robinets reçoivent encore différents noms, d'après les fonctions qu'ils ont à remplir : c'est ainsi qu'on distingue les robinets d'arrêt, les robinets de décharge, les robinets flotteurs, etc.

RONDELLE. Lame de plomb, ou de cuir, ou de flanelle, ayant la forme d'une couronne circulaire, que l'on place entre les brides de deux tuyaux contigus, afin de rendre le joint plus étanche, et racheter plus facilement les irrégularités de la surface des brides.

SIPHON. Tube recourbé, en verre ou en metal, qui a pour objet de vider un vase contenant un liquide, sans qu'on soit obligé de percer le vase dans la partie inférieure.

SOUDURE. Alliage composé de deux tiers de plomb sur un tiers d'étain, dont les plombiers se servent pour réunir deux tuyaux de plomb.

SOUPAPE. Diaphragme mobile qui permet par son mouvement l'entrée ou la sortie d'un fluide.

TUYAU. Cylindre creux qui sert pour conduire l'eau.

On fait des tuyaux de bois d'aune, de poterie, de plomb, de fonte de fer, etc.

Digitized by Google

Les tuyaux prennent aussi des noms particuliers, suivant leur position et leur emploi : tuyau de descente, est celui qui conduit les eaux pluviales d'un comble sur le sol de la rue ou d'une cour.

Tuyau de décharge, est celui qui sert à vider l'eau contenue dans un bassin ou un réservoir.

VEINE FLUIDE. Lorsqu'un liquide s'écoule par une ouverture qu'on a faite à un vase, il prend la forme d'un filet auquel on donne en général le nom de veine.

Si l'on suit exactement la forme de la veine liquide, on remarque que d'abord elle a le même diamètre que l'ouverture faite dans le vase ; mais à partir de cette ouverture, et tout de suite, elle va en diminuant, de manière qu'elle tend à former une surface conique ; elle se relève ensuite, de manière qu'il y a une section de la veine qui est plus petite que toutes les autres. L'endroit où la section se trouve plus petite s'appelle section de la veine contractée, et ce phénomène est exprimé par le nom de *contraction de la veine fluide*.

Cette contraction a une influence sur le produit de l'écoulement, c'est-à-dire que l'écoulement dû à la théorie, ou calculé d'après le principe de Torricelli, diffère de l'écoulement réel. (*Voyez* AJUTAGE, ÉCOULEMENT DES LIQUIDES.)

VENTOUSES. Les ventouses ne sont autre chose, dans l'acception commune, qu'un instrument au moyen duquel on fait le vide sur une partie du corps humain.

En hydraulique, on donne ce nom à des appareils destinés à fournir une issue à l'air qui s'accumule dans la partie la plus élevée des sinuosités des conduites.

ZINC. Le zinc est un métal solide, blanc bleuâtre, lamelleux, très-ductile : cependant il passe beaucoup moins au laminoir qu'à la filière ; aussi existe-t-il des lames de zinc assez minces, et n'existe-t-il point de fil d'un diamètre très-fin ; sa dureté est faible, sa pesanteur spécifique de $6^{kil.},861$.

Il entre en fusion au-dessous de la valeur rouge, et se volatilise, au-dessus de cette température, à un certain degré qui n'est pas connu.

Il entre pour un quart dans la composition du laiton ou cuivre jaune.

L'on commence à s'en servir pour faire des conduites, des gouttières, des bassins, des baignoires, des couvertures de toits, etc.

Digitized by Google

DESCRIPTION DES PLANCHES.

PLANCHE I.

Fig. 1. — Profil du pont-aqueduc d'Arcueil.

Fig. 2. Profil en travers du canal de l'Ourcq.

Ce canal est destiné principalement à amener à Paris les eaux de la rivière d'Ourcq, Sa longueur, depuis la prise d'eau, Mareuil, jusqu'au bassin de la Villette, est de 93,922 mètres; sa largeur est de 3^m,50 au plafond, et de 8^m,00 à la surface de l'eau. en supposant une profondeur de 1^m,50. Une partie du canal est creusée sur une pente 0^m,000 062 5 par mètre, et l'autre sur une pente de 0^m,000 123 6. Il peut fournir écoulement à un volume d'eau de 2^m,999 par seconde.

Fig. 3 et 4.— Profil de la partie souterraine de l'aqueduc qui porte les eaux à Montpellier.

La cunette, tant dans la partie recouverte par des dalles que dans la partie voûtée, est en pierre de taille refouillée sur 32 centimètres de largeur, et 27 centimètres de hauteur pour former le canal dans lequel l'eau s'écoule.

Les pierres s'assemblent par emboîture à ressaut, et quoique l'eau ne puisse s'échapper que par ces joints, il est cependant plus difficile de s'opposer aux infiltrations, en suivant ce mode de construction, qu'en formant une simple maçonnerie en petits moellons, recouverte à l'intérieur par un enduit. (*Voyez*, pl. II, l'élévation de la partie hors de terre de cet aqueduc.)

Fig. 5. — Profil de l'aqueduc romain d'Uzès à Nîmes.

Fig. 6. — Profil du pont du Gard.

On désigne ainsi la partie de l'aqueduc de Nîmes qui traverse la vallée profonde dans laquelle coule le Gardon.

Ce pont est composé de trois rangs d'arcades superposés.

Fig. 7. — Elle représente, sur une plus grande échelle, le détail de la construction du troisième rang et du canal dans lequel les eaux coulaient. On y voit les parements en moellon esmillé (*a*); les deux assises en pierre de taille forment plinthe (*b*); le milieu de la construction en maçonnerie de petits moellons et mortier (*c*); le canal (*d*), dont le fond est creusé en portion de cercle, et qui est en partie obstrué par les dépôts ou concrétions pierreuses (*e*); enfin, les grandes dalles de recouvrement (*f*).

On a désigné par la lettre A les constructions modernes ajoutées par Pitot

PLANCHE II.

Plan, coupe et élévation de la partie de l'aqueduc de Montpellier supportée par des arcades, à son extrémité, du côté de la promenade du Peyrou.

Cet acqueduc a été construit en 1752 par Pitot, ingénieur et membre de l'Académie des sciences.

Digitized by Google

Depuis son origine, à Saint-Clément, jusqu'au Peyrou, il parcourt un espace de 13,904 mètres, dont 8,772 mètres au-dessous du niveau du sol et 4,752 au-dessus.

Il se termine, sur une longueur de 880 mètres, par deux rangs d'arcades superposés. Le premier rang est formé par 53 arches de 8 mètres d'ouverture ; l'épaisseur des piles est de quatre mètres ; les soubassements varient de hauteur, vu l'inégalité du terrain. Le second rang est formé par 135 arches de $2^m,78$ d'ouverture ; l'épaisseur des piles est de $1^m,36$; la hauteur moyenne de l'aqueduc, en arrivant au Peyrou, est de $21^m,68$. Le canal est supporté, dans cette partie, par trois grandes arches. L'ouverture de celle du milieu est de $19^m,50$; celle des deux autres est de 10 mètres.

On peut circuler au-dessus des arcades inférieures, à travers des ouvertures cintrées, ménagées dans l'épaisseur des piles du rang supérieur.

De nombreuses filtrations, que les gelées rendaient désastreuses pour la conservation de ce monument, ont engagé l'administration à faire revêtir en lames de plomb le canal dans lequel l'eau s'écoule.

La construction de l'aqueduc a coûté 950,000 livres environ.

PLANCHE III.

Fig. 1. — Élévation du pont à siphon de Gênes, dit *delle Arcate*, qui traverse la vallée du torrent *Geivato*, portant les eaux de la colline de *Mollassana* à celle de *Pino*.

On a supposé dans cette élévation qu'on avait enlevé le parapet, afin de montrer la conduite qui suit la courbure du pont, sur lequel elle est couchée. Son embouchure se trouve dans le réservoir qui termine la première partie de l'aqueduc, et son extrémité dans le réservoir qui forme l'origine de la deuxième partie de l'aqueduc.

Fig. 2, 3, 4. — Détail de l'assemblage des tuyaux en fonte de fer.

Le tuyau à tubulure A, placé dans la partie inférieure de la conduite, est destiné à donner une issue aux eaux, lorsqu'on veut vider le siphon.

Le tuyau à tubulure B, placé dans la partie supérieure, près de l'embouchure, facilite l'introduction de l'eau, en donnant une issue à l'air.

Fig. 5. — Plan d'une pile.

Fig. 6. — Profil en travers de l'aqueduc.

Fig. 7. — Appareil de jauge pour la distribution des eaux dans l'intérieur de la ville de Gênes.

A canal de l'aqueduc.

B tuyau de jauge.

C bassin.

D tuyau en plomb qui conduit l'eau dans la maison du concessionnaire.

Nous allons donner à cet égard quelques détails intéressants extraits d'un mémoire rédigé par le chevalier Barabino, architecte hydraulique et civil, et qui nous a été communiqué par M. Mallet, ingénieur en chef du service de la distribution des eaux de l'Ourcq à Paris.

Digitized by Google

On a adopté à Gênes, pour unité de mesure, l'ouverture ronde d'un tuyau de cuivre jaune fondu, de la longueur de $0^m,10$ et du diamètre de la vingtième partie du *Palmo*, qui correspond au diamètre de $0^m,01238$. Cette unité est appelée *bronzino d'acqua*, et vulgairement *oncia d'acqua*.

Ce tuyau est formé avec un rebord à une de ses extrémités, et il est plombé dans un cube en marbre de $0^m,08$ de côté, au moyen d'un trou qu'on a percé dans son centre, comme on voit dans la fig. 7. Le cube en marbre, avec son *bronzino* au centre, est scellé dans une des parois de l'aqueduc et presque sur le fond, avec son rebord en dehors. Il verse continuellement son eau dans un petit bassin dit *troglietto*.

Au fond de ce bassin se trouve soudé le tuyau de conduite en plomb ; il descend dans la rue la plus voisine, à $0^m,40$ de profondeur sous le pavé, et on le dirige par le plus court trajet, et le long des rues, à la maison du propriétaire de l'eau, ou au réservoir auquel l'eau est destinée. La même méthode est pratiquée pour les fontaines et les lavoirs publics, dans lesquels l'eau se verse continuellement.

Ce réservoir ou bassin en plomb, qui a la forme d'un cube de $0^m,50$ à $0^m,75$ de côté, est placé ordinairement au niveau du toit de la maison. Dans la partie supérieure est adapté un autre tuyau, appelé *spandente* (réservoir), qui porte l'eau dans quelque citerne, ou chez quelque voisin, tandis qu'un autre tuyau principal est attaché presque sur le fond du même bassin et porte l'eau, par autant d'embranchements particuliers, dans presque toutes les chambres de la maison et particulièrement dans les cuisines, lavoirs, terrasses, jardins, latrines, etc., l'extrémité de chaque embranchement étant pourvue d'un robinet qu'on ferme et ouvre à volonté.

Il n'y a point de prix fixe pour l'unité de mesure de l'eau ou *bronzino*.

La première vente qui en a été faite par les édiles, aux divers particuliers, se rapporte à des temps antérieurs, où ce prix était très-bas, et aujourd'hui ce sont les particuliers propriétaires qui les vendent à d'autres particuliers au prix courant, qui varie de 800 à 1,800 francs, suivant les localités, dans les parois de l'aqueduc ; et comme il arrive toujours que les *bronzini* inférieurs se trouvent sous une moindre pression d'eau, ceux-ci sont naturellement moins chers, et il n'est pas rare qu'un *bronzino* dans l'été ne fournisse régulièrement que pendant quelques heures, malgré la distribution alternative qu'on fait dans l'aqueduc, et dans la journée même où le tour de ce *bronzino* tombe.

Dès que les propriétaires des *bronzini* les ont achetés, soit la première fois des édiles, soit de quelque particulier qui en était propriétaire, le *bronzino* est considéré comme une propriété dont le maître dispose à son gré ; ainsi le *bronzino* est vendu et revendu comme objet de commerce, et le propriétaire n'a d'autre dépense à faire que celle de l'entretien de ses tuyaux en plomb, depuis le bassin *troglietto*, qui part de l'aqueduc, tandis que l'administration des édiles est chargée des dépenses qui regardent l'entretien de l'aqueduc, depuis sa première source jusqu'à la dernière de ses branches.

Digitized by Google

PLANCHE IV.

Fig. 1. — Coupe longitudinale d'un tuyau de conduite d'eau.

M, M, M′, M′. Tranche infiniment petite du courant.

θ. Angle formé par la tangente au point que l'on considère avec la verticale.

Fig. 2. Coupe longitudinale d'une conduite d'eau à *souterazi*.

R. Réservoir à l'extrémité de la première partie de l'aqueduc.

r′. Réservoir à l'origine de la deuxième partie de l'aqueduc.

B. B′. Bassins intermédiaires placés au sommet des piles.

La distance entre les piles est ordinairement de 90 toises, et la différence entre les niveaux des bassins de 7 pouces.

Fig. 3, 4. — Coupe d'un *souterazi*, indiquant la forme du bassin, l'arrivée et le départ de la conduite, le coude formé dans le dé inférieur.

Fig. 5, 6, 7. — Appareil de jauge dont chaque ajutage fournit le double module d'eau ou 20 mètres en vingt-quatre heures.

M. de Prony a proposé cette unité de mesure des eaux courantes.

Fig. 5. — Plan de l'appareil.

R. Réservoir qui environne la caisse de jaugeage et reçoit l'eau de la source.

C. Caisse de jaugeage dont un des bords, de $0^m,017$ d'épaisseur, est percé de trous de $0^m,020$ de diamètre, dont les centres sont sur une ligne placée à $0^m,050$ en contre-bas du niveau constant de l'eau dans la caisse.

Fig. 6. — Coupe de l'appareil.

Fig. 7. — Coupe sur une plus grande échelle de la paroi dans laquelle sont percés les trous.

Fig. 8. — Appareil d'écoulement à niveau constant.

afeb. Cuve dont on veut faire écouler l'eau sans que le niveau supérieur change.

Cette cuve est divisée en trois parties, E′, E, E″, par deux diaphragmes, *sr*, *ut*, dont la hauteur est un peu moindre que celle du niveau qu'on veut conserver.

F, F. Flotteurs situés dans les deux caisses latérales E′, E″.

Ces deux flotteurs supportent une caisse inférieure G, par un système de tringles *p′*, *q′*.

L'eau qui s'écoule de la cuve *rstu*, par l'un des orifices *y*, *y*, est reçue dans un tuyau qui la conduit dans cette caisse G.

Il suit de cette disposition que le niveau reste constant dans la cuve, puisque autant il s'abaisse par la perte d'eau que fait le vase, autant il s'élève par l'enfoncement dû à la charge que reçoivent les flotteurs.

Fig. 9. — Plan de l'appareil pour le jaugeage des eaux d'un ruisseau, au moyen d'un barrage à pertuis horizontal.

V. Vanne, que l'on maintient à une ouverture fixe et calculée, de manière que l'eau, en s'écoulant par l'orifice horizontal O, demeure à une hauteur constante en amont du barrage B.

Fig. 10. — Profil du même appareil.

Digitized by Google

PLANCHE V.

Fig. 1, 2. — Plan et profil de l'appareil pour le jaugeage à pertuis vertical.

Fig. 3. — Tube de Pitot, servant à déterminer la vitesse d'un courant.

AC. Coude que l'on place parallèlement aux filets fluides.

GD. Colonne d'eau soutenue dans le tube par l'impulsion continue de la masse fluide en mouvement.

a. Flotteur dont la tige est graduée, et qui, lorsque le tube AB n'est pas transparent, sert à indiquer la hauteur à laquelle l'eau s'élève.

Fig. 4, 5. — Plan et profil d'un déversoir pratiqué dans une des faces d'un bassin, pour former une cascade.

Fig. 6. — Pompe aspirante.

m, m. Cylindre appelé *corps de pompe*, dans lequel se meut à frottement un piston creux, dont l'ouverture est fermée par une soupape *s* qui s'ouvre de bas en haut.

n, n. Autre cylindre, appelé *tuyau d'aspiration*, réuni au premier au moyen de brides et boulons. On place dans le joint une rondelle de cuir gras pour boucher exactement les petits interstices qui pourraient se trouver entre les parties solides des deux collets.

Une soupape S, qui s'ouvre de bas en haut, est ajustée dans une cloison plane, à la hauteur de la jonction du corps de pompe et du tuyau d'aspiration.

Ce tuyau est évasé par le bas en O, pour donner à l'eau extérieure une entrée plus facile. On a soin de clore cette entrée par une plaque percée d'un grand nombre de trous, ou par un grillage, afin d'empêcher que les ordures ou les corps solides contenus dans l'eau du réservoir ne s'élèvent dans le tuyau d'aspiration et n'obstruent les deux soupapes S*s*.

Fig. 7. — Pompe aspirante et foulante.

m, m. Corps de pompe dans lequel joue un piston *plein*, mû par une tige verticale.

n, n. Tuyau d'aspiration, couvert au point de jonction avec le corps de pompe par une soupape S, qui s'ouvre de bas en haut.

p, p. Tuyau latéral ou d'ascension, réuni au corps de pompe par une tubulure à bride, et fermé à son orifice par une soupape *s*, qui s'ouvre de l'intérieur à l'extérieur, ou du côté opposé au corps de pompe.

Fig. 8, 9. Profils d'un cylindre, dont la capacité est divisée par un piston en deux parties, l'une remplie d'eau, et l'autre pouvant recevoir de la vapeur d'une chaudière par un tuyau qui établit la communication.

PLANCHE VI.

Fig. 1, 2. — Prise d'eau au moyen d'un tuyau recourbé fermé par une bonde.

a. Réservoir.

b. Puisard circulaire de prise d'eau.

c. Aqueduc.

Digitized by Google

e. Tuyau de fonte de fer, recourbé à angle droit, et incrusté dans le massif de maçonnerie du puisard.

Ce tuyau a 25 centimètres de diamètre, et 18 millimètres d'épaisseur. Les deux branches se raccordent par un quart de circonférence de 70 centimètres de rayon.

La branche extérieure a 60 centimètres de long; elle s'élève verticalement de 20 centimètres au-dessus du fond du réservoir, afin de prévenir, par cette disposition, l'entrée dans le puisard des matières pesantes que le courant pourrait y entraîner.

La surface intérieure de l'orifice vertical est dressée en forme de cône tronqué, pour recevoir l'extrémité de la bonde en fer de même forme, au moyen de laquelle cet orifice est tenu, à volonté, ouvert ou fermé.

Cette bonde *f* est composée d'un tuyau de cuivre laminé, monté sur un châssis de trois barreaux de fer verticaux, assemblés à leurs extrémités dans des croisillons de même métal.

Des barreaux de fer s'élèvent au-dessus du croisillon supérieur, en s'inclinant les uns sur les autres, et présentent ainsi les trois arêtes d'une pyramide triangulaire, qui se réunissent, à leur sommet, dans une portion d'anneau de fer forgé.

On manœuvre cette bonde par une chaîne de fer, qui est fixée au centre du croisillon supérieur, et qui forme l'axe matériel de la pyramide mentionnée ci-dessus.

Cette chaîne s'enroule dans une gorge circulaire adaptée à l'extrémité du levier *g*, qui a son axe de rotation au centre même de cet arc de cercle.

Le bras de levier, à l'aide duquel la bonde est manœuvrée, est introduit dans l'intérieur du regard par une embrasure pratiquée à cet effet dans le mur circulaire de ce regard.

Fig. 3, 4. — Prise d'eau au moyen d'un siphon.

r, *r*. Robinets d'arrêt que l'on ferme pour amorcer le siphon.

t. Tubulure qui sert à remplir le siphon.

v. Tuyau-ventouse destiné à donner une issue à l'air de la conduite, lorsqu'on y introduit l'eau.

La différence de niveau entre les extrémités des deux branches verticales du siphon est de 30 centimètres.

Pour amorcer le siphon, on ferme les deux robinets d'arrêt placés à ses extrémités, et, au lieu de faire le vide, on le remplit d'eau par l'ouverture pratiquée dans la partie supérieure; on ferme cette ouverture; on débouche ensuite les deux extrémités en ouvrant les robinets, et l'écoulement s'établit.

PLANCHE VII.

Fig. 1, 2. — Dessin d'une prise d'eau au moyen d'une tubulure.

C. Conduite principale alimentaire.

T. Tubulure à bride, ayant le même diamètre que le branchement.

R. Robinet d'arrêt sur la conduite secondaire ou branchement.

D. Branchement.

Digitized by Google

E, E, E, E. Murs du regard renfermant le robinet de prise d'eau.

F, F. Châssis en pierre qui couvre le regard.

G, G. Châssis et tampon en fonte pour la fermeture du regard.

Fig. 3, 4, 5. — Dessin d'une prise d'eau à collier, au moyen d'un percement.

A. Conduite sur laquelle est fait le percement.

B. Tuyau de plomb de prise d'eau, à l'extrémité duquel on forme un rebord qu'on applique contre la conduite principale, après avoir interposé un cuir gras.

C. Collier de fer en deux parties demi-circulaires, portant chacune deux oreilles percées d'un trou pour placer une vis D. Ce collier est pénétré par le tuyau de plomb, dont il presse le rebord contre la paroi de la conduite, lorsqu'on tourne la vis et qu'on rapproche les deux parties de collier.

Fig. 6. — Prise d'eau à vis.

A. Conduite sur laquelle est fait le branchement.

B. Tuyau de prise d'eau. Il est en fer, et porte à son extrémité un pas de vis qu'on fait tourner dans l'écrou formé sur l'épaisseur du tuyau de fonte, au point où l'on a ménagé un renfort.

C. Prolongement en plomb du tuyau de prise d'eau.

D. Nœud de soudure formant l'assemblage des deux tuyaux.

Fig. 7. — Instrument propre à mesurer les différences de pression que l'eau exerce sur les parois de deux conduites qui se pénètrent.

Cet instrument se compose d'un tube recourbé, dont les deux branches *aa* sont graduées. On les fait communiquer avec l'intérieur des deux conduites, au moyen de tubes en plomb *bc*. L'eau pénètre dans ces tubes et se rend dans l'instrument, en comprimant l'air qu'il renferme. Un petit trou percé au sommet, et recouvert par une tige *d*, qui tourne dans un écrou, permet de faire sortir un peu d'air, s'il est nécessaire, pour que l'eau paraisse dans les deux branches graduées et que les lignes de niveau soient visibles à travers le verre.

L'instrument est porté par un pied de graphomètre *e*, et on le place de manière que les divisions correspondantes des deux tubes soient sur une même ligne de niveau.

Un robinet est placé sur chaque conduite, au delà de la réunion avec le tube en plomb, afin de faire varier la vitesse, et, par suite, les pressions contre les parois. La différence de ces pressions est mesurée par les différences des hauteurs du niveau de l'eau dans les deux branches de l'instrument.

Fig. 8 et 9. — La conduite alimentaire *a* verse ses eaux dans un vase cylindrique *b*, dont la paroi verticale est percée de dix trous circulaires de même diamètre, et placés à la même hauteur.

L'eau qui s'écoule par l'un des orifices tombe dans un second vase *c*, qui reçoit, par conséquent, le 1/10e du produit total. Ce second vase laisse également l'eau s'échapper par dix orifices, et le produit de l'un d'eux, ou le 1/100e du produit total, est recueilli dans un troisième vase *d*.

Enfin, ce vase est percé de dix orifices dont chacun débite le 1/1,000e du produit de la conduite alimentaire.

Digitized by Google

Cette fraction est reçue dans un réservoir *e*, hermétiquement fermé.

Un flotteur *f* est attaché à un fil qui s'enroule sur une poulie, et porte à l'autre extrémité un contre-poids garni d'une pointe horizontale.

Ce contre-poids se meut, à mesure que l'eau monte dans le réservoir, le long d'une échelle graduée dont les divisions indiquent les volumes d'eau reçue correspondants aux différentes hauteurs du flotteur; l'inspection de la pointe suffit par conséquent pour faire connaître à chaque instant le produit de l'écoulement par la conduite alimentaire.

PLANCHE VIII.

Cette planche présente le plan de la distribution de 4,000 pouces d'eau de l'Ourcq aux différentes fontaines existantes, ou que l'on se propose d'établir dans l'intérieur de Paris.

On a suivi le système proposé en 1810 par M. Girard, et qui consiste à dériver, soit du bassin de La Villette, soit de l'aqueduc de ceinture qui, partant de ce bassin, et se soutenant à la même hauteur, contourne la partie septentrionale de Paris jusqu'à la plaine de Monceaux, le volume d'eau que l'on destine à chaque fontaine, et à l'y porter par une conduite particulière.

Le bassin inférieur de la fontaine, ou château d'eau, devient une cuvette de distribution pour le service des bornes d'arrosement établies dans les rues environnantes; et lorsque les points culminants de ces rues se trouvent placés à une distance trop considérable, on forme des branchements sur la conduite alimentaire.

Nous avons placé sur un plan de grande dimension toutes ces conduites secondaires, de manière qu'il y eût une bouche d'eau à chaque point culminant de rue.

Il en est résulté qu'il fallait 955 bornes-fontaines, dont 214 sont déjà posées, pour arroser le sol de Paris.

Quant aux diamètres des conduites principales, on les a déterminés après avoir évalué le volume d'eau qui doit alimenter chaque fontaine, la longueur de la conduite et la différence de niveau entre les deux points extrêmes, d'où résulte la charge motrice.

M. Girard avait proposé de renfermer les conduites sous des galeries voûtées, depuis leur origine jusqu'à leur extrémité inférieure, en profitant de tous les anciens égouts où elles pourraient être placées sans inconvénient.

Deux galeries, susceptibles de contenir quatre conduites, ont été construites d'après ce système; mais nous pensons qu'il doit être abandonné, parce qu'il entraînerait dans de trop grandes dépenses, et que l'on doit se contenter de poser les conduites sous terre, en assemblant les tuyaux par emboîtement. Nous n'en admettrons qu'aux prises d'eau et dans les parties où le sol naturel est plus élevé que les eaux dans le bassin de La Villette ou dans l'aqueduc de ceinture.

Le montant des dépenses faites peut s'élever à. .	9,500,000f,00
Celles restant à faire à.	5,500,000 00
Total. . .	15,000,000 00

Digitized by Google

PLANCHE IX.

RENSEIGNEMENTS SUR LES DIVERSES ESPÈCES DE TUYAUX EMPLOYÉS POUR LA CONDUITE DES EAUX. — ROBINETS FLOTTEURS.

Fig. 1, 2, 3, 4 et 5. — Tuyaux en bois naturel.

Il y a trois modes d'assemblage pour les tuyaux en bois naturel : le premier (fig. 1), généralement employé, consiste à agrandir le diamètre intérieur *a* du tuyau en forme de cône, et à diminuer le diamètre extérieur du tuyau *b*, également en cône, pour le faire entrer dans celui *a*. On consolide le tuyau *a* par une frette en fer *c*, en même temps qu'on calfate les joints des deux cônes avec de la filasse goudronnée.

Le second assemblage s'opère en introduisant dans les tuyaux *a* et *b* (fig. 2) une virole en fer *p*, d'un diamètre moyen entre celui intérieur et celui extérieur du tuyau.

Le troisième assemblage (fig. 3) a lieu par une emboîture cylindrique à mi-bois.

La fig. 4 représente la virole ou bague *d* dans son état primitif, en plan et en coupe.

La fig. 5 la fait voir toute préparée. A partir de la saillie *e*, l'anneau s'amincit en forme de cône, de façon que les bords deviennent tranchants.

Fig. 6, 7 et 8. — Tuyaux en pierre factice ou ciment.

La fig. 6 représente un tuyau fabriqué d'avance et portant une emboîture à ressaut, que l'on scelle avec du ciment.

Les fig. 7 et 8 représentent le plan et la coupe de tuyaux de conduites faites sur place, soit en formant le passage de l'eau au centre du ciment avec un noyau cylindrique, du diamètre donné, soit après avoir établi le fond et les côtés en ciment, en recouvrant le dessus de grandes dalles, tuiles, etc., recouvertes d'une couche de ciment.

Fig. 9 et 10. — Robinet flotteur.

g. Robinet d'arrêt horizontal placé à l'extrémité d'une conduite qui verse ses eaux dans un réservoir.

h. Flotteur fixé au carré du robinet, au moyen d'une tige en fer, pour le faire ouvrir ou fermer, suivant que le niveau de l'eau s'abaisse ou s'élève.

i. Réservoir sur lequel est fixé le robinet.

Au lieu de terminer la conduite par un robinet, on peut placer une soupape (fig. 10), qui, également mue par un flotteur, diminue ou augmente la grandeur de l'orifice, et par conséquent le produit de l'écoulement.

PLANCHE X.

Les réservoirs de la rue Saint-Victor sont destinés à fournir de l'eau, soit au quartier Saint-Marcel, pour le service de la distribution; soit à l'Entrepôt des vins, en cas d'incendie.

Ils sont alimentés par une conduite de 4,750 mètres de longueur, et 25 centimètres de diamètre, qui prend son origine dans le regard construit en tête de la galerie

Digitized by Google

Saint-Laurent, et reçoit les eaux du bassin de la Villette au moyen de l'aqueduc de ceinture.

La différence de niveau entre la surface de l'eau dans le bassin de la Villette et la tablette de couronnement des réservoirs est de $3^m,95$ centimètres.

Cette conduite fournit environ 70 pouces.

Les réservoirs ont 4 mètres de profondeur, et peuvent contenir ensemble 6000 kilolitres d'eau.

Ils ont coûté, savoir :

Maçonnerie des bassins et partie du regard contenant le système hydraulique	95,876f,58
Galerie d'entrée.	23,114,06
Fourniture de tuyaux de fonte pour les différentes conduites posées dans le regard et dans la rue Saint-Victor, sur une longueur de 30 mètres.	11,522,40
Fontainerie et plomberie, non compris la fourniture des robinets	12,921,58
Six robinets à vanne.	6,000,00
Un robinet à coin.	1,500,00
Total.	150,934,62

A. Robinet d'arrêt, de $0^m,25$ de diamètre, sur la conduite d'arrivée, pour alimenter le réservoir destiné au service public.

B. Robinet d'arrêt de $0^m,25$ de diamètre, sur la conduite d'arrivée, pour alimenter le réservoir destiné au service de l'Entrepôt des vins.

C. Robinet de prise d'eau sur la conduite de distribution dans le quartier Saint-Marcel.

D. Robinet de prise d'eau sur la conduite de l'Entrepôt des vins.

EE. Deux robinets destinés à alimenter les conduites de distribution de l'Entrepôt, sans le secours des réservoirs, en fermant les robinets ABCD.

F. Robinet qui sert à faire entrer l'eau du réservoir destiné au service public dans la conduite de l'Entrepôt, en fermant les robinets ABDEE, et réciproquement à faire entrer l'eau du réservoir destiné à l'Entrepôt dans la conduite de distribution, en fermant les robinets ABCEE.

GG. Deux robinets d'arrêt, qui servent à mettre en décharge l'un ou l'autre des réservoirs.

H. Conduite de décharge.

PLANCHE XI.

GERBE D'EAU DU PALAIS-ROYAL.

La conduite qui alimente la gerbe d'eau du Palais-Royal part du regard construit en tête de la galerie des Martyrs, et parcourt cette galerie jusqu'au grand égout. Elle

Digitized by Google

remonte ensuite l'égout Montmartre jusqu'à la hauteur de la rue du Mail, passe dans le nouvel aqueduc construit sous les rues du Mail, des Petits-Pères et Neuve-des-Petits-Champs, jusqu'au perron du Palais-Royal, et se retourne successivement dans l'égout de la rue Montpensier et dans celui du jardin du Palais-Royal, jusque sous le bassin.

La longueur totale est de. . . . . 2661^{m},
Le diamètre de. . . . . 0^{m},25

La différence de niveau entre la surface de l'eau, dans l'aqueduc de ceinture et le dessus de la crapaudine de la gerbe d'eau, est de 17^{m},09.

Le volume d'eau qui s'écoule en vingt-quatre heures, de 85 pouces environ.

Le bassin a 25^{m},00 de diamètre, et 0^{m},45 de profondeur en contre-bas de l'arête intérieure de la bordure.

Le fond se compose : 1° d'une couche de glaise de 0^{m},20 d'épaisseur posée sur le terrain naturel ; 2° d'un lit de caillou et de gravier de 0^{m},05 d'épaisseur ; 3° d'un massif en maçonnerie de meulière, avec mortier de chaux et sable, de 0^{m},30 d'épaisseur ; 4° enfin d'une chape en béton de 0^{m},05 d'épaisseur, recouverte d'un enduit en mortier de ciment de même épaisseur.

Un cours de dalles de 1 mètre de largeur et 20 centimètres d'épaisseur règne sous la bordure, qui est faite en deux assises de 0^{m},45 de largeur, et 45 centimètres de hauteur.

La crapaudine, ou champignon du centre, est en cuivre, et pèse 160 kilogrammes.

La bonde du trop-plein est également en cuivre, du poids de 40 kilogrammes.

Cette bonde est posée sur le tuyau de décharge du fond, et couverte par une grille à barreaux de fer, du poids de 100 kilogrammes.

La construction du bassin a coûté. . . . . 33,164^{f},00
La crapaudine et la bonde du trop-plein. 1,260,36

La galerie souterraine, 300^{f},00 le mètre courant.

a. Crapaudine ou champignon.
b. Conduite alimentaire.
t. Tuyau pour le trop-plein et pour vider le fond du bassin.
r. Robinet d'arrêt du diamètre de la conduite alimentaire.
e. Trou de service pour descendre dans la galerie souterraine.

PLANCHES XII ET XIII.

FONTAINES DE LA PLACE ROYALE.

La conduite qui alimente les quatre fontaines de la Place-Royale est branchée sur celle des réservoirs Saint-Victor. Elle a 25 centimètres de diamètre. Dans un regard placé à l'entrée de la place, elle se divise en deux branches de 162 millimètres de diamètre jusqu'à la première fontaine, et 0^{m},108 jusqu'à la deuxième. On leur a donné une légère inclinaison, afin de pouvoir les mettre en décharge.

Digitized by Google

Chaque branchement porte à son origine un robinet de 0m,108 millimètres d'ouverture, et une décharge qui jette les eaux dans la galerie qui renferme la conduite alimentaire.

Un autre robinet de même ouverture est placé sous chaque fontaine dans un regard, pour intercepter à volonté l'écoulement de l'eau, et mettre en décharge la colonne montante.

Enfin, une conduite de décharge règne parallèlement aux deux branches qui aboutissent aux fontaines, et reçoit les eaux qui tombent des vasques dans le bassin inférieur.

L'ouverture des robinets est réglée de manière à ce que le volume d'eau qui s'écoule en vingt-quatre heures à chaque fontaine soit de 6 à 7 pouces environ.

La dépense pour la construction des quatre fontaines peut être évaluée à 68,000 fr.; savoir :

Construction du regard, des massifs sous les bassins, etc. .	20,000f,00
Fourniture et pose des vasques et des bassins en lave d'Auvergne, dite pierre de Volvic.	36,000 ,00
Achat de tuyaux en fonte pour les branchements, à partir de la conduite alimentaire, et les décharges.	4,500 ,00
Pose des tuyaux et ouvrages de fontainerie. , ...	7,500 ,00
Total.	68,000 ,00

LÉGENDE.

a. Conduite alimentaire.

b. 2 robinets de prise d'eau sur les branchements qui portent l'eau aux quatre fontaines.

c. Robinet de décharge d'un branchement.

d. Colonne montante.

e. Robinet d'arrêt qui sert à régler l'écoulement de chaque fontaine.

f. Robinet de décharge de la colonne ascendante.

g. Conduite de décharge pour le trop-plein et le fond du bassin.

h. Entrée du regard.

PLANCHE XIV, XV, XVI.

CHATEAU D'EAU DE BONDI.

La conduite qui alimente le château d'eau de Bondi part du regard en tête de la galerie Saint-Laurent, parcourt cette galerie, et se retourne ensuite dans le grand égout, qu'elle suit jusqu'à la rencontre de la galerie du château d'eau.

La longueur de la conduite est de.	1,329m	0
Son diamètre de.	0	25 c.
La différence de niveau entre la surface de l'eau, dans le bassin de La Villette, et l'orifice de la conduite de la colonne montante.	6	243
Le volume d'eau qui s'écoule en vingt-quatre heures. . . .	135 pouces	

Digitized by Google

La dépense de construction du château d'eau, non compris l'établissement de la conduite, peut s'élever à la somme de 250,000 fr. environ ; savoir :

Terrassements.	10,602f,28
Maçonnerie	155,500 ,98
Charpente.	18,073 ,79
Serrurerie.	2,500 ,50
Pavage.	8,377 ,89
Fourniture et confection de divers objets en fonte, tels que lions, vasques, colonnes, mascarons, etc.	41,266 ,98
Fontainerie et plomberie.	12,616 ,10
Peinture.	201 ,40
Total. . .	249,138 ,92

LÉGENDE.

a. Conduite alimentaire.
b. Robinet d'arrêt pour régler l'écoulement de la colonne ascendante.
c. Quatre conduites qui alimentent les huit lions.
d. Quatre robinets d'arrêt à l'origine des conduites qui alimentent les huit lions.
e. Quatre robinets de décharge sur ces mêmes conduites.
f. Ventouse.
g. Tuyau de décharge du trop-plein.
h. Tuyau de décharge du fond du bassin.
i. Robinet d'arrêt sur la conduite de décharge du fond.
k. Tuyaux qui alimentent les deux mascarons de la rue de Bondi.
l. Deux robinets d'arrêt pour régler l'écoulement des deux mascarons.

PLANCHE XVII.

FONTAINE GAILLON.

Cette fontaine offre l'exemple d'une distribution d'eau à domicile, au moyen d'une cuvette de jauge, qui alimente les conduites des concessionnaires.

Fig. 1. — Plan de la fontaine et du regard, contenant la cuvette de concession et le réservoir alimentaire.

Fig. 2. — Élévation générale de la fontaine et de la façade de la maison contre laquelle elle est adossée.

Fig. 3. — Coupe indiquant la manière dont les eaux sont distribuées.

Fig. 4, 5. — Plan et coupe sur une plus grande échelle de la cuvette de concession.

La cuvette de concession M est composée de trois parties, *a*, *b*, *c*, séparées par des cloisons.

La première partie, *a*, reçoit les eaux portées par la conduite *d*. Ces eaux coulent dans la deuxième partie *b*, par des orifices circulaires percés dans la cloison transversale ; elles doivent s'y maintenir à un niveau constant, fixé à 7 *lignes* au-dessus du

Digitized by Google

centre des orifices percés dans la cloison qui sépare la deuxième partie de la troisième. Pour cela, on a posé un tuyau de trop-plein *e*, dont l'orifice supérieur correspond à ce niveau, et qui porte dans le réservoir N l'excédant des eaux fournies par la conduite principale sur le volume destiné aux concessionnaires.

Dans cette deuxième partie, il existe également une cloison *x*, qu'on appelle *cloison de calme*, parce qu'elle a pour objet d'empêcher la fluctuation de l'eau, en la forçant à passer par des ouvertures ménagées à la jonction, avec le fond du réservoir.

La troisième partie *b* est divisée en autant de compartiments, 1-2-3-4, etc., qu'il y a de concessionnaires.

La quantité d'eau qui coule dans chacun d'eux dépend de la grandeur de l'orifice percé dans la cloison qui sépare la deuxième partie de la troisième, dont le diamètre se fixe en raison de la quantité d'eau concédée. Elle est ensuite portée par un branchement particulier dans la maison d'habitation.

Le réservoir N reçoit, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, le trop-plein du réservoir de concession ; mais il peut aussi être alimenté par une conduite *f*, branchée sur la conduite principale. Ce branchement porte à son extrémité un robinet flotteur, qui diminue l'orifice d'écoulement à mesure que les eaux s'élèvent dans le réservoir, et le ferme entièrement lorsque le réservoir est plein.

Un tuyau *g* conduit les eaux de ce réservoir au dauphin qui domine la vasque supérieure ; de là elles retombent dans la grande vasque, et se rendent, par le tuyau *h*, à une borne-fontaine destinée à l'usage du public.

Cette fontaine, qui se distingue par l'élégance de ses proportions et la richesse de ses ornements, a été construite d'après les dessins et sous la direction de M. Visconti, architecte.

PLANCHE XVIII.

Cette planche représente les dessins de plusieurs fontaines de Paris, qui, par la simplicité de leurs formes, nous ont paru susceptibles d'être offertes comme modèle.

PLANCHE XIX.

Filtres divers dont l'explication est donnée dans le texte.

PLANCHES XX, XXI, XXII.

Nous empruntons à l'ouvrage de M. Eck (*Traité de l'application du fer, de la fonte et de la tôle dans les constructions civiles, industrielles et militaires*[1]) trois planches représentant quelques-unes des fontaines les plus élégantes construites à Paris depuis la publication de l'ouvrage de Genieys. Ce sont des types qu'on pourra consulter avec fruit, sous le rapport de la grâce et de la richesse de l'ornementation.

Nous extrayons textuellement du même Traité les détails suivants relatifs à la dépense de ces fontaines.

[1] Carilian-Gœury et Vᵉʳ Dalmont, éditeurs.

Digitized by Google

FONTAINES DE LA PLACE DE LA CONCORDE (M. HITTORFF, ARCHITECTE).

Le poids d'une fontaine est de 31707k,92[1], qui, à raison de 1 fr. 20 le kilog., y compris la peinture en couleur de bronze[2], font.	57,569f,50
La fonte pour chacune des six grandes figures assises a coûté 3,000 fr., ci.	18,000,00
Pour chacun des trois Tritons et des trois Néréides, 2500 fr., ci. . .	15,000,00
Pour chacun des trois Génies debout, 1500 fr., ci.	4,500,00
La dorure : 100 mètres superficiels, à 45 fr. le mètre, ci.	4,500,00
Total pour une fontaine.	79,569,00
Dont à déduire 12 fr. 035 pour 100 de rabais soumissionné, ci. . .	9,576,18
Ci, pour une fontaine, prix net[3]..	69,993,32

Nota. Dans son mémoire, M. Muel établit le poids de

la fonte de chaque fontaine à.	52,815k,11
au lieu de.	31,307k,92
portés au devis. — Différence en plus.	21,507,19

Mais un article du cahier des charges ayant prévu le cas de cette augmentation, par suite d'épaisseurs plus fortes que celles annoncées et données aux pièces, l'adjudicataire n'a eu droit à aucune indemnité, sauf le cas où il s'est trouvé d'avoir eu à faire des fournitures supplémentaires imprévues ; d'où il suit, en définitive, que le poids total de *fonte* pour ces deux fontaines monumentales est de 62613k,84, qui, à raison du rabais de 12 fr. 35 pour 100, et eu égard à la somme de 70,200 fr. dépensée pour frais de modèle, ont coûté 210,186 fr. 64.

FONTAINES DES CHAMPS-ÉLYSÉES (M. HITTORFF, ARCHITECTE).

Le poids de la fontaine de *Vénus*[4] (carré dit des Ambassadeurs) est de 5446k,60 à raison de 1f,20 le k., y compris la peinture couleur bronze, ci.	6,667f,92
La dorure, 16m à 45 fr. le mètre, ci.	720,00
La figure de 2m,20 de proportion.	3,800,00
Prix de la fontaine.	11,187,92
Dont à réduire le rabais de 16 f. 25 pour 100, ci.	1,818,03
Prix net. . . .	9,369,89

Nota. Le poids porté par M. Calla est de 6271k,90
au lieu de. 5556,60
Différence en plus. . . . 715,30

[1] Dans ce poids ne sont pas compris les tuyaux pour l'arrivée des eaux, ni pour leur décharge.
[2] Cette peinture a été faite par le nouveau procédé de M. de Plainville, procédé qui a répondu, jusqu'à présent, à son but, qui est d'imiter parfaitement le bronze et d'empêcher la rouille.
[3] Dans cette somme de 69,993 fr. 32 c. ne sont pas compris les frais des modèles, ni pour les figures, ni pour toutes les autres parties d'ornements. Ces frais, qui ont été supportés par la ville de Paris, se sont élevés, pour les deux fontaines, savoir :

Pour les 24 figures (les trois Tritons et les trois Néréides ayant été seuls répétés), à.	45,000 fr.
Et pour les sculptures d'ornements, à.....	25,200
Total.....	70,200 fr.

Laquelle somme est à répartir sur les deux fontaines.
[4] A l'exception de la figure qui est une *Diane*, cette fontaine est répétée dans le carré Ledoyen.

Digitized by Google

Le poids de la fontaine de l'*Élysée-Bourbon* est de 5297k,14 à 1 f. 20 le kil., y compris la peinture couleur de bronze, ci. 6,356f,56
Dorure, 12m à 45 fr. le mètre, ci. 540,00
Prix de la fontaine. 6,896,56
dont on a à déduire le rabais de 16 fr. 25 pour 100, ci. 1,120,69
Prix net. 5,775,87

Nota. Le poids donné par M. Calla est de.. . . . . 5130k,00
au lieu de. 5297,14
Différence en moins. . . . 167,14

Le poids de la fontaine du carré de *Marigny* est de 7466k,45, à 1 f. 20 le kilog., compris la peinture couleur de bronze. 8,959f,74
Chaque figure à 1,600 fr., ci pour les quatre. 6,400
20 mètres de dorure, à 45 fr. le mètre, ci. 900
Prix de la fontaine. 16,259f,74
Moins le rabais de 16 fr. 25 pour 100, ci. 2,642,20
Prix net. 13,617,54

Nota. Le poids donné par M. Calla est de. 8819k,00
au lieu de. 7466,45
Différence en plus. 1352,55

N'est pas compris dans le poids de chacune de ces fontaines celui des tuyaux pour l'arrivée et la décharge des eaux.

Nota. Le cahier des charges avait prévu le cas d'une augmentation de poids de la part du fondeur, et stipulé qu'il ne lui en serait pas alloué, mais que, dans le cas contraire, c'est-à-dire dans celui de l'infériorité du poids, l'entrepreneur devait tenir compte de la différence.

Dans les différentes sommes du prix net des *fontes*, ne sont pas compris les frais de modèles, supportés par la ville; ces frais se sont élevés, savoir :

Pour les deux figures et le groupe de quatre, à. . . . . 11,200 fr.
Pour la sculpture d'ornements, à. 8,500
Total. 19,700

A répartir sur les quatre fontaines dont nous venons de donner les sous-détails.

D'où il suit, en définitive, que le poids total de *fonte*, pour les quatre fontaines des carrés des Champs-Élysées, est de 23876k,79, qui, à raison du rabais de 16 f. 25 pour 100, et eu égard à la somme de 19,700 fr. dépensée pour frais de modèles, ont coûté 57,833 fr. 19.

FONTAINE DE LA PLACE RICHELIEU (M. VISCONTI, ARCHITECTE).

Le poids de la *fonte* employée pour les figures, les vasques et les ornements de cette fontaine, est de 28,000 kil., qui ont été payés la somme de. 33,000 fr.
L'exécution des modèles a coûté. 13,000
Les travaux de marbrerie se sont montés à. 16,600
Et ceux de maçonnerie, à la somme de. 10,922
Enfin, les travaux d'hydraulique se sont élevés à. 8,265
La dépense s'est donc élevée à la somme totale de. . . . . 81,787 fr.

FIN DE LA SECONDE PARTIE.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

3 2044 079 950 473

THE BORROWER WILL BE CHARGED AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT RETURNED TO THE LIBRARY ON OR BEFORE THE LAST DATE STAMPED BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE NOTICES DOES NOT EXEMPT THE BORROWER FROM OVERDUE FEES.

WIDENER
BOOK DUE
FEB 1982
CANCELLED
CANCELLED
JAN 05 2007
BOOK DUE

Digitized by Google

3 2044 079 950 473

Digitized by Google